



**ARTUR JORGE  
MACEDO VIDAL**

## **DESENVOLVIMENTO DE UM DISTRIBUIDOR DE GÁS PARA NOVA GAMA DE ESQUENTADORES**

Relatório de Projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica do Doutor Victor Fernando Santos Neto, Professor Auxiliar Convidado do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Dedico este trabalho à minha esposa Cristina e filhos Gonçalo e Miguel pelo incansável apoio, carinho e paciência nesta longa caminhada.

## **o júri**

Presidente

Prof. Doutor Vítor António Ferreira da Costa  
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

Vogal - Arguente Principal

Doutor Jorge Manuel Moutinho Neves Moreira de Pinho  
Engenheiro de Desenvolvimento, Bosch Termotecnologia, S.A.

Vogal – Orientador

Doutor Victor Fernando Santos Neto  
Professor Auxiliar Convidado da Universidade de Aveiro

## **agradecimentos**

Agradeço acima de todos à minha família, pela sua presença, paciência, suporte e motivação constante. O meu principal alicerce nesta longa e desafiante caminhada.

Agradeço a todos os colegas de trabalho que me apoiaram e me motivaram desde o primeiro dia a lutar por um melhor futuro na empresa. Em especial aos Engenheiros Carlos Abreu, Pedro Cardoso, Bruno Monteiro, José Moreira, Paulo Couto, Sérgio Salústio, Ricardo Carranca, Ricardo Laranjeira e Emílio Estrelinha.

Agradeço aos colegas do curso pela colaboração sempre presente dentro e fora das aulas. Em especial aos sempre amigos Tiago Santos, Inês Matos, Sérgio Cruz, Joana Guimarães, João Reis, Joana Soares, João Rios, Ricardo Bastos, Alexandre Barca, Bruno Oliveira, Nuno Santos, Luís Carneiro, João Sousa, Patric Figueiredo, Luísa Azeredo, Rui Azevedo e Leandro Alves.

Agradeço aos Professores que me orientaram de forma a concretizar esta etapa, todos foram importantes. Um agradecimento especial aos Professores Filipe Teixeira Dias, São Lopes Costa, António Completo, António Bastos, João Alexandre Oliveira, João Caeiro, Victor Neto, Fernando Neto, Mara Madaleno, Alexandre Cruz, Abílio Borges, Alfredo Balacó, Gil Andrade Campos, Mónica Oliveira, António Festas e Paula Carvalho, pelo profissionalismo e excelência no verdadeiro significado das suas profissões.

Agradeço novamente ao Professor Victor Neto que aceitou o desafio de ser o meu orientador.

A todos o meu sincero OBRIGADO.

**palavras-chave**

Bosch; Distribuidor de gás; Cachimbo; Tampa; Injetor; Vedante; GN; GPL; Simulação; NOx

**resumo**

Este documento pretende registar desde a amostra-A até à amostra-B, as várias opções, suas vantagens e desvantagens, a tomada de decisão, a otimização, simulações, prototipagem e testes do desenvolvimento de um distribuidor de gás para uma nova gama de esquentadores, que cumpra os novos requisitos legais relativos às emissões de NOx. Esta nova gama de esquentadores será produzida na empresa Bosch Termotecnologia, S.A.

**keywords**

Bosch; Connector pipe; Cover; Injector; Sealant; NG; LPG; Simulation;NOx

**abstract**

It is intended that this document register from A-sample to B-sample, all options, their advantages and disadvantages, decision making, optimization, simulations, prototyping and testing for development of a gas distributor for a new water heater range, which complies with new legal requirements for NOx emissions. This new water heaters range will be produced at the company Bosch Termotecnologia, S.A.

“A ciência nunca resolve um problema sem criar pelo menos outros dez”.  
(George Bernard Shaw)

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito.  
Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.  
(Marthin Luther King)

# Índice

1.	Apresentação da empresa .....	1
2.	Objetivos.....	3
3.	Enquadramento.....	3
3.1.	O processo de desenvolvimento na Bosch Termotecnologia, S.A.....	3
3.2.	Gama de aparelhos em foco para o distribuidor de gás .....	5
4.	Estado da arte das soluções tecnológicas.....	6
4.1.	Régua em alumínio extrudida .....	6
4.2.	Corpo em alumínio injetado .....	7
4.3.	Corpo em alumínio injetado e tampa em chapa de aço.....	7
5.	Fase de conceito.....	8
5.1.	Estabelecer os requisitos do produto.....	8
5.2.	Estabelecer as especificações do produto .....	8
5.3.	Amostra-A: Alternativas.....	9
5.3.1.	Proposta 1: Corpo e tampa injetados.....	9
5.3.2.	Proposta 2: Corpo e tampa em chapa – versão 1.....	10
5.3.3.	Proposta 3: Corpo e tampa em chapa – versão 2.....	10
5.3.4.	Proposta 4: Corpo injetado e tampa em chapa .....	11
5.3.5.	Proposta 5: Régua extrudida e elementos injetores modulares .....	12
5.4.	Matriz de decisão.....	13
6.	Fase de desenvolvimento – Amostra-B .....	15
6.1.	Solução escolhida: Corpo e tampa em chapa – versão 2 .....	15
6.1.1.	Componentes .....	18
6.1.1.1.	Corpo .....	18
6.1.1.2.	Cachimbo .....	19
6.1.1.3.	Vedante-B .....	20
6.1.1.4.	Parafusos de ligação.....	21
6.1.1.5.	Vedante-A .....	21
6.1.1.6.	Tampa .....	22
6.1.1.7.	Injetores .....	23
6.1.2.	Sequência de montagem .....	24
6.2.	Teste de estanquidade .....	25
6.3.	Cálculos, análises e simulações .....	26
6.3.1.	Análise da área de obstrução de passagem de ar primário .....	26
6.3.2.	Cálculos de perda de carga do conjunto em CFD .....	27
6.3.2.1.	Perda de carga do conjunto.....	27
6.3.2.2.	Perda de carga do cachimbo .....	29
6.3.3.	Simulação de espessura mínima do corpo.....	30
6.3.4.	Cálculo das taxas de compressão dos vedantes.....	31
6.3.5.	Simulação estrutural em Elementos Finitos.....	33
6.3.6.	Torque de aperto dos elementos roscados do conjunto .....	35
6.4.	Protótipos.....	36
6.5.	Gama de distribuidores de gás.....	38
6.6.	Distribuidor de gás no aparelho .....	39
7.	Lista de peças (Bill Of Materials).....	40
8.	Conclusão .....	41
9.	Referencias bibliográficas .....	43



## Índice de figuras

Figura 1 - Edifício principal e edifício do Desenvolvimento e Inovação .....	1
Figura 2 – História da Bosch Termotecnologia, S.A. ....	2
Figura 3 - Esquema do processo de desenvolvimento na Bosch Termotecnologia, S.A.....	4
Figura 4 - Enquadramento do componente nas gamas de aparelhos a gás.....	5
Figura 5 - Régua em alumínio extrudida (conjunto montado e conjunto explodido).....	6
Figura 6 - Corpo em alumínio injetado e maquinado (conjunto montado e conjunto explodido) .....	7
Figura 7 - Corpo em alumínio injetado e tampa em chapa de aço - (conjunto montado e conjunto explodido) .....	7
Figura 8 - Corpo e tampa injetados (conjunto montado e conjunto explodido).....	9
Figura 9 - Corpo e tampa em chapa, versão 1 (conjunto montado e vista em corte).....	10
Figura 10 - Corpo e tampa em chapa, versão 2 (conjunto montado e vista em corte).....	10
Figura 11 - Corpo injetado e tampa em chapa (conjunto montado e conjunto explodido).....	11
Figura 12 - Régua extrudida e elementos injetores modulares .....	12
Figura 13 - Conjunto montado e conjunto explodido .....	15

## Índice de tabelas

Tabela 1 - <i>Matriz de decisão</i> .....	13
Tabela 2 - <i>Análise da área de obstrução de passagem de ar provocada pelo conjunto</i> .....	26
<b>Tabela 3 - <i>Pressão de entrada (Pa)</i></b> .....	28
<b>Tabela 4 – <i>Pressão (Pa) em cada injetor</i></b> .....	28
<b>Tabela 5 – <i>Caudal mássico (%) por cada injetor (total 100%)</i></b> .....	28
<b>Tabela 6 – <i>Diferença de caudal mássico (%) entre injetores</i></b> .....	28
<b>Tabela 7 – <i>Desvio (%) entre injetores</i></b> .....	28
<b>Tabela 8 - <i>Queda de pressão (Pa)</i></b> .....	29
<b>Tabela 9 - <i>Cálculo das taxas de compressão do vedante-A</i></b> .....	31
<b>Tabela 10 - <i>Cálculo das taxas de compressão do vedante-B</i></b> .....	32
<b>Tabela 11 – <i>Resumos dos valores das simulações</i></b> .....	34
<b>Tabela 12 – <i>Valores dos torques a aplicar no conjunto</i></b> .....	35
<b>Tabela 13- <i>Lista de peças</i></b> .....	40

## 1. Apresentação da empresa



**Figura 1 - Edifício principal e edifício do Desenvolvimento e Inovação**

Sob a designação de Vulcano Termodomésticos S.A., a Bosch Termotecnologia S.A. iniciou a sua atividade em Cacia (Aveiro), no dia 17 de março de 1977, com base num contrato de licenciamento com a Robert Bosch, para a transferência da tecnologia utilizada pela empresa alemã no fabrico de esquentadores. A qualidade dos aparelhos produzidos, a estratégia de vendas e assistência pós-venda permitiram-lhe uma rápida e sólida liderança do mercado nacional de esquentadores.

Em 1988, a empresa foi adquirida pelo Grupo Bosch, que transferiu para Portugal competências e equipamentos, iniciando um processo de especialização dentro do Grupo. Líder do mercado europeu desde 1992, e terceiro produtor mundial de esquentadores, a Bosch Termotecnologia SA é hoje o centro de competência da Robert Bosch para este produto, competindo-lhe a conceção e o desenvolvimento de novos aparelhos bem como, a sua produção e comercialização.

Beneficiando de sinergias no desenvolvimento de aparelhos de queima a gás, a Bosch Termotecnologia iniciou em 1996 a produção de caldeiras murais a gás e em 2011 a produção de bombas de calor para uso doméstico.

O último passo no alargamento da gama de produtos produzidos em Aveiro, deu-se em 2016, com a produção de aparelhos elétricos para aquecimento de água.

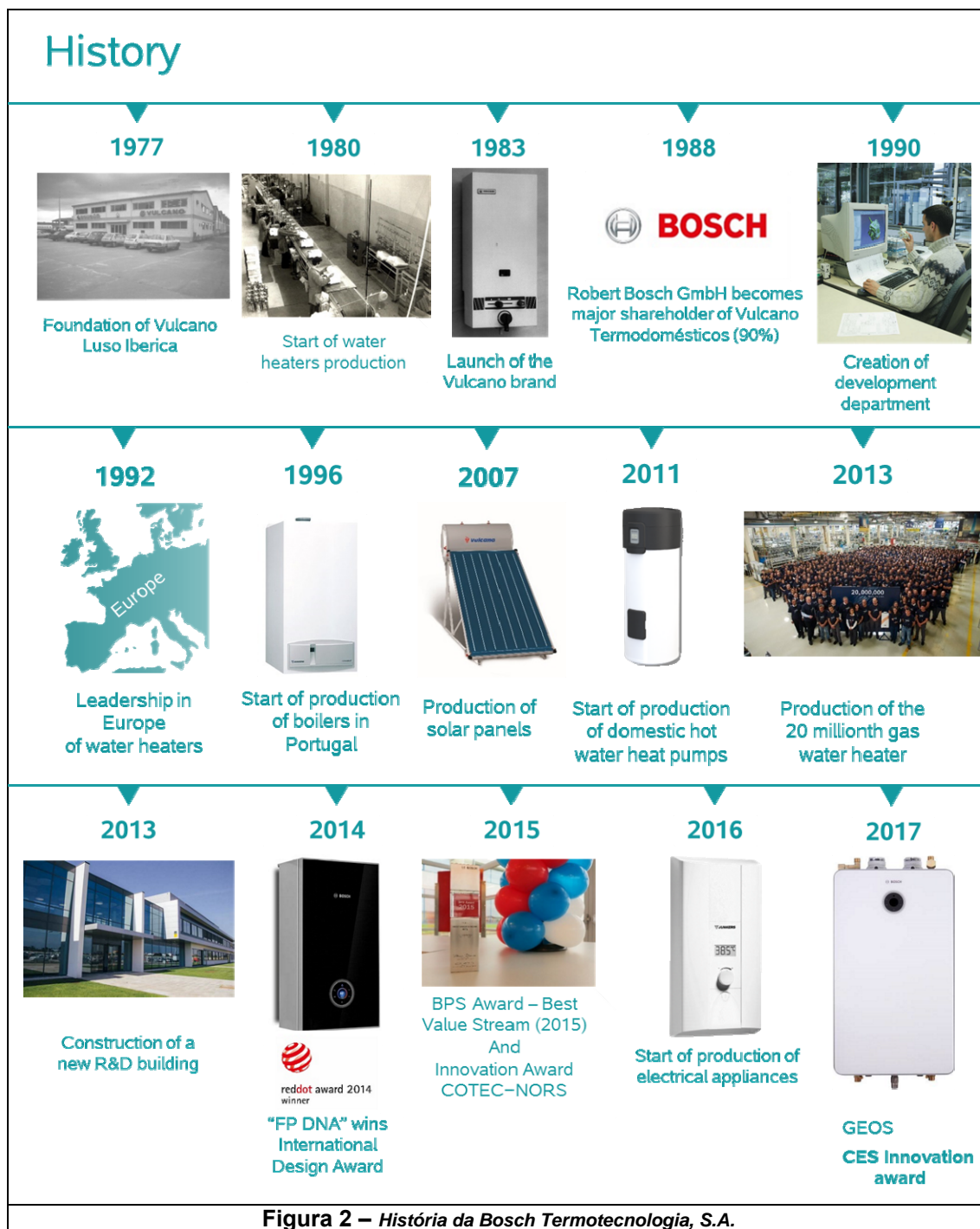
Presente em 55 países e diversos mercados, desde a Europa até à Austrália, a Bosch Termotecnologia produz uma variada gama de modelos que são comercializados internacionalmente através de marcas próprias do Grupo (Bosch, Buderus, Junkers, Leblanc, Vulcano) ou de clientes.

Ao longo dos últimos anos a empresa introduziu no mercado mundial de esquentadores inúmeras inovações, como os aparelhos com ignição automática, esquentadores de elevada potência, o controlo remoto Celsius e a tecnologia de condensação. Produtos e componentes inovadores que se tornaram pontos de referência e que estimulam as vendas e reforçam a notoriedade dos seus produtos no mercado.

De salientar que em 2014, a Bosch investiu 7,7 milhões de euros em Inovação & Desenvolvimento. Por isto foi contruído mais um edifício inteiramente dedicado à Investigação & Desenvolvimento e está-se já a trabalhar no alargamento das suas competências nas áreas da conectividade, aplicações, IoT, entre outras.

Além destes produtos inovadores que têm vindo a receber ao longo dos últimos anos, inúmeros prémios nacionais e internacionais e que vêm comprovar o seu nível de excelência, a empresa melhora continuamente os seus próprios processos com o forte apoio e a participação de todos os seus colaboradores, sendo hoje reconhecida como uma das melhores empresas para trabalhar em Portugal.

Esta história pode-se ilustrar da seguinte forma:



## 2. Objetivos

O objetivo deste projecto é o desenvolvimento e prototipagem da amostra-B de um distribuidor de gás com interface ao queimador para uma nova gama de esquentadores que cumpra os novos requisitos legais relativamente às emissões de NOx, no departamento de Desenvolvimento e Inovação da empresa Bosch Termotecnologia, S.A., segundo critérios funcionais e tecnológicos inovadores, tendo em conta requisitos de processo de fabrico, montagem, manutenção e custo.

## 3. Enquadramento

### 3.1. O processo de desenvolvimento na Bosch Termotecnologia, S.A.

O processo de desenvolvimento na Bosch é dividido em secções definidas com pontos de início e fim bem estruturados. Dentro das secções (fases), as regras e procedimentos são definidos e alocados no plano temporal. Cada fase tem pontos de decisão (milestones) para validar o curso do projecto.

As milestones consistem em:

- Identificar fases do projecto e resultados importantes;
- Servir o planeamento e controlo do projecto;
- Dar indicações sobre atrasos e riscos no decurso do projecto;
- Dar oportunidades para reconsiderar o projecto.

As milestones são:

- Milestone 1 - Início do projecto  
(Project Start)
- Milestone 2 – Início da fase de desenvolvimento do projecto  
(Project Release)
- Milestone 3 – Início da fase de desenvolvimento do projecto  
(Industrial Design Release)
- Milestone 4 - Confirmação do projecto  
(Project Confirmation)
- Milestone 5 - Validação da Especificação e Documentos Técnicos  
(Technical Design Release)
- Milestone 6 – Início de ensaios de campo  
(Field-test Started)
- Milestone 7 – Produção da Série-0  
(Zero Series Release)
- Milestone 8 – Início de produção em massa  
(Star of Production Release)
- Milestone 9 – Entrega do produto no Mercado  
(Delivery Release)
- Milestone 10 – Fim do projecto  
(Project end)

O processo de desenvolvimento na Bosch Termotecnologia, S.A. encontra-se esquematizado na figura 3:

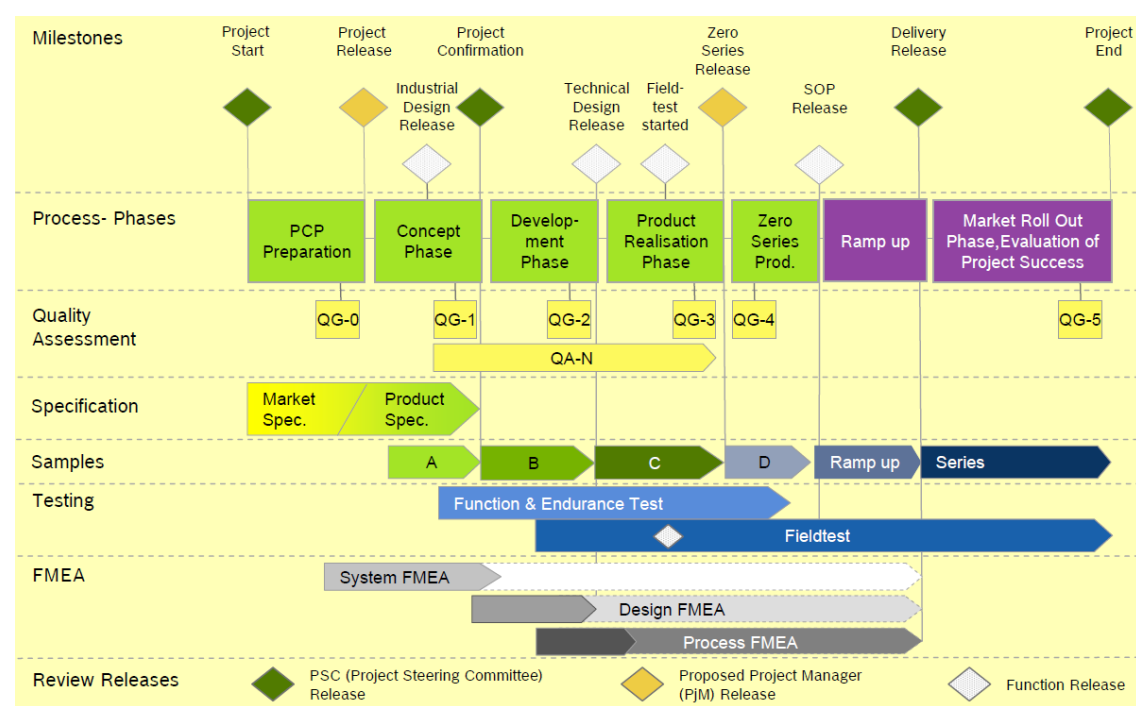


Figura 3 - Esquema do processo de desenvolvimento na Bosch Termotecnologia, S.A.

[1]

### 3.2. Gama de aparelhos em foco para o distribuidor de gás

O âmbito deste projecto enquadra-se entre a fase da especificação do produto até à fase de desenvolvimento e respetivo protótipo funcional (amostra-B). O componente a desenvolver tem como objetivo a sua utilização em 3 gamas de aparelhos. As gamas de aparelhos a gás em foco são denominadas por aparelhos atmosféricos de exaustão natural, aparelhos atmosféricos ventilados ou de exaustão forçada e aparelhos estanques.



#### COMPACT II - Atmosférico de Exaustão Natural

Os aparelhos Atmosféricos de Exaustão Natural são usados quando as condutas de saída de gases respeitam as normas em vigor. Nesta gama, o distribuidor de gás faz parte do corpo de gás modulante.

- 1 Câmara de combustão, sem cobertura de materiais pesados.
- 2 Corpo de gás modulante.
- 3 Display multifunções. Indicação da temperatura e códigos de avaria.
- 4 Sonda de gases queimados. Proteção contra o possível retrocesso dos gases queimados.
- 5 Limitador de temperatura. Proteção contra as possíveis subidas de temperatura.
- 6 Corpo de água. Fabricado em poliamida reforçada com fibra de vidro.
- 7 Sistema de fixação.



#### COMPACT II KME - Atmosférico Ventilado ou de Exaustão Forçada

Aparelhos Atmosféricos Ventilados ou de Exaustão Forçada são usados quando as condutas de saída de gases não respeitam as distâncias regulamentares, é necessário um aparelho que inclua um ventilador integrado no próprio esquentador, assegurando a exaustão dos gases da combustão para o exterior.

Nesta gama, o distribuidor de gás faz parte do corpo de gás modulante.

- 1 Ventilador integrado
- 2 Pressóstato diferencial
- 3 Limitador de temperatura
- 4 Caixa eletrónica



#### FP - Estanque

Aparelhos Estanques são os aparelhos adequados para instalações em locais com condições de exaustão deficientes e/ou más condições de admissão de ar. Possuem uma câmara de combustão estanque, não necessitando de utilizar o ar interior da divisão onde o esquentador está instalado. Incorporam igualmente um ventilador que força a saída dos gases de combustão, sendo a admissão de ar novo feita a partir do exterior do edifício, através de condutas independentes ou de chaminé dupla concêntrica.

Nesta gama, o distribuidor de gás faz parte da válvula de gás.

- |                               |                      |
|-------------------------------|----------------------|
| 1 Coletor de saída de gases   | 7 Caudalímetro       |
| 2 Caixa estanque              | 8 Válvula de gás     |
| 3 Permutador de calor         | 9 Entrada de gás     |
| 4 Queimador                   | 10 Entrada de água   |
| 5 Ventilador                  | 11 Saída de água     |
| 6 Eletrónica, display digital | 12 Unidade de queima |

Figura 4 - Enquadramento do componente nas gamas de aparelhos a gás

[2]



## 4. Estado da arte das soluções tecnológicas

Pretende-se neste capítulo apresentar os distribuidores de gás utilizados em algumas das atuais gamas de produtos onde é pretendido que o novo distribuidor de gás seja solução.

Este, deve cumprir com a EN26, Norma Europeia que regula Aparelhos de Produção Instantânea de água quente para usos sanitários que utilizam combustíveis gasosos - Características de construção, segurança de funcionamento e utilização racional de energia.

### 4.1. Régua em alumínio extrudida

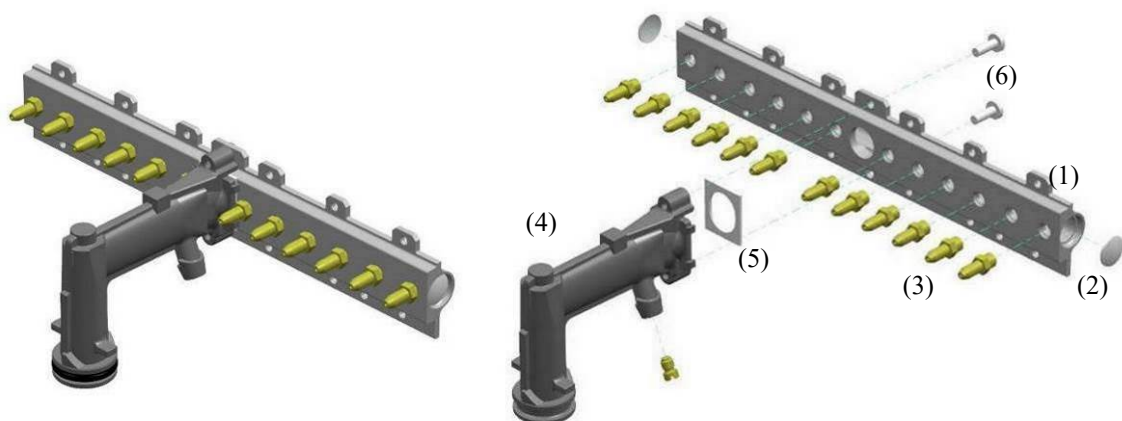
Esta é a solução com maior utilização quanto ao número de aparelhos produzidos. É usada nas 3 soluções de esquentadores a gás apresentadas na figura 4 e está ilustrada na figura 5.

A partir de uma vara extrudida de alumínio (1) de cerca de 6 m lineares, são cortadas várias régua de dimensões diferentes em conformidade com a capacidade do aparelho que varia entre aparelhos de 6 a 18 litros. Cada régua tem a função de distribuir o gás desde a entrada à saída pelos injetores. A régua é maquinada em 3 zonas e com diferentes geometrias: uma para definir o canal de entrada de gás e aperto da peça de ligação (cachimbo) com respetiva vedação, outras duas nos topos para cravação/rebordeamento das tampas em aço (2) e por último, as “n” de geometrias roscadas em que “n” representa o número de injetores de gás (3) do conjunto.

O cachimbo (4) da válvula de gás à régua é em alumínio injetado e tem, como o próprio nome indica, a principal função de ligar a válvula de gás à régua de injetores tendo ainda uma segunda função que é a de assegurar uma interface para medição da pressão de gás antes dos injetores.

A vedação do cachimbo à régua de injetores é feita por um vedante-B (5) em fibra de aramida sendo este comprimido por duas ligações roscadas (6).

Por último, injetores em latão são roscados à régua extrudida.

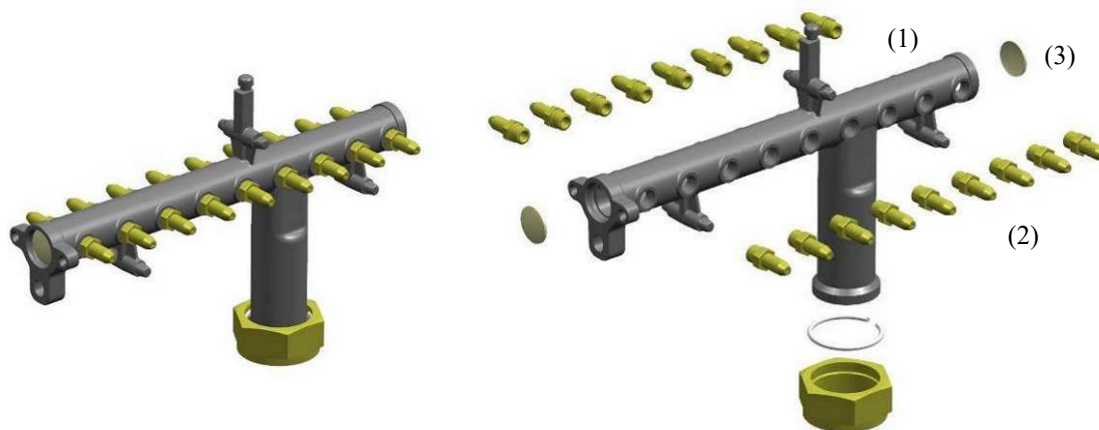


**Figura 5 - Régua em alumínio extrudida (conjunto montado e conjunto explodido)**



## 4.2. Corpo em alumínio injetado

Nesta solução, ilustrada na figura 6, temos um corpo em alumínio injetado (1) e posteriormente maquinado para roscar os injetores de gás (2). Dada a sua geometria e necessidade de vários movimentos no molde, ao corpo são cravadas/rebordeadas as tampas em aço (3) para vedação do conjunto. Por último, injetores em latão são roscados ao corpo injetado.

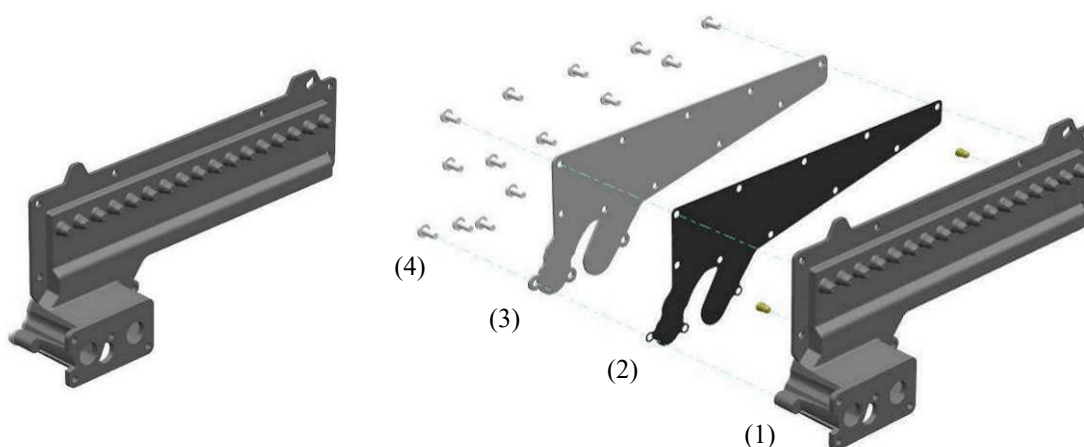


**Figura 6 - Corpo em alumínio injetado e maquinado (conjunto montado e conjunto explodido)**

## 4.3. Corpo em alumínio injetado e tampa em chapa de aço

Nesta outra solução, temos um corpo em alumínio injetado (1) e posteriormente maquinado conforme especificação dos diâmetros dos injetores de gás, que podem variar em função dos valores de pressão de gás no mercado onde o aparelho é pretendido ser comercializado. Esta solução está ilustrada na figura 7.

A sua vedação é feita por um vedante-B em NBR (Borracha de Nitrilo Butadieno) (2), homologado para vedação de gás, comprimido por uma chapa em aço galvanizado ou aluminizado (3) por vários elementos roscados (4).



**Figura 7 - Corpo em alumínio injetado e tampa em chapa de aço - (conjunto montado e conjunto explodido)**

## 5. Fase de conceito

### 5.1. Estabelecer os requisitos do produto

Para este novo componente, estabeleceram-se os seguintes requisitos:

Requisitos funcionais:

- Complemento do caminho de gás do sistema;
- Alinhamento dos injetores em relação ao queimador;
- Baixa perda de carga;
- Ligação à válvula de gás;
- Ligação ao queimador;

Requisitos de processo:

- Design que permita a utilização de componentes e processos existentes;
- Manter (ou baixar) os tempos de processo e de montagem;

Requisitos de manutenção/instalação:

- Tomada de pressão de gás;
- Facilidade de montagem e desmontagem para manutenção;

Requisitos do cliente:

- Durabilidade de 15 anos;
- Implementação em vários mercados com vários tipos e pressões de gás;

Requisitos legais:

- Cumprimentos das normas internas, legislação local e Directivas Europeias. [6]

### 5.2. Estabelecer as especificações do produto

Com base nos requisitos, estabeleceram-se as seguintes especificações:

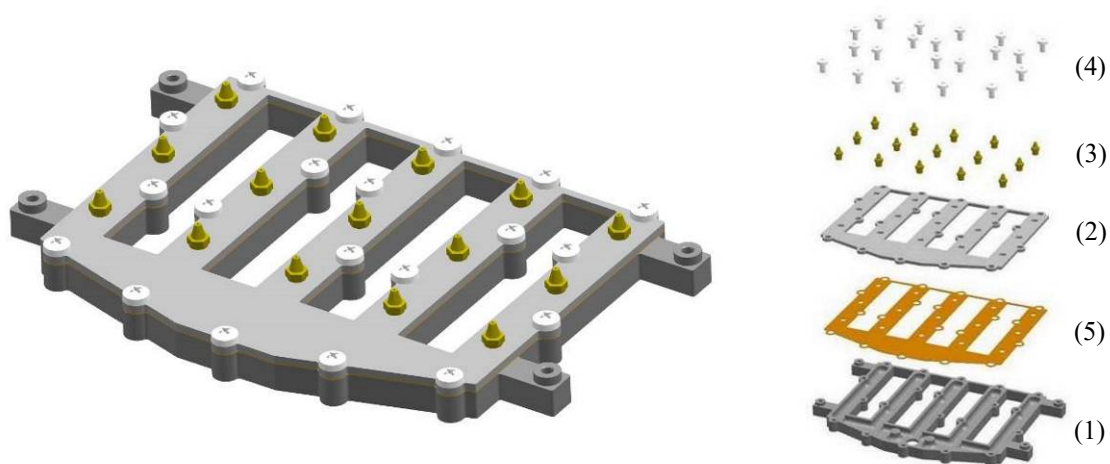
- Diferença de caudal de gás entre injetores inferior a 1.6% (equivalente a uma perda de carga a baixo dos 40 Pa entre e para injetores de Ø1 mm);
- Cota de fuga menor que 70 cm<sup>3</sup>/h para uma pressão de 150 mbar para garantia de todas as condições de funcionamento;
- Convertível entre GN e GPL;
- Funcional para várias pressões;
- Escolha de materiais apropriados para durabilidade até 15 anos;
- Design modular que permita a utilização em aparelhos de diversas capacidades: de 5,9,11,14 e 17 lts;
- Cumprimento da norma interna N2580 RoHs (*Prohibition and declaration of Substances*), legislação local EN26 e EN549 e Diretiva Europeia RoHs. [3]

### 5.3. Amostra-A: Alternativas

Várias alternativas foram discutidas e para as testar é necessário numa primeira fase executar a modelação em CAD de cada uma delas, seguidamente prototipar e testar e por último decidir por qual avançar. O Software utilizado para a modelação foi o NX da Siemens.

A prototipagem das amostras-A foi feita com recurso a tecnologias de CNC, moldes de silicone, impressão 3D, corte de chapa a laser e prensas manuais (ferramentas protótipo). Dadas as baixas quantidades de protótipos necessárias para validação das alternativas, a utilização destes rápidos processos de aquisição de componentes foi fundamental no intuito de os obter no menor tempo possível e com custos reduzidos.

#### 5.3.1. Proposta 1: Corpo e tampa injetados



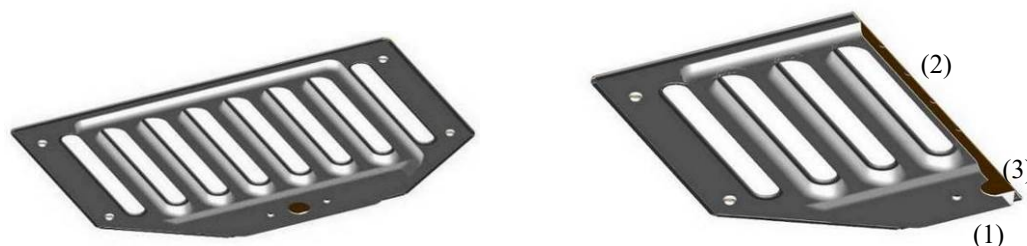
**Figura 8 - Corpo e tampa injetados (conjunto montado e conjunto explodido)**

Nesta versão, o corpo (1) e a tampa (2) do distribuidor de gás são obtidos por injeção de alumínio e posteriormente maquinados. A necessidade de maquinação tem a ver com a obtenção de geometrias roscadas, geometrias com requisito de acabamento superficial rigoroso (por exemplo para vedação) e garantia de tolerâncias mais apertadas que não se conseguem em processo de injeção. Os injetores (3) podem ser roscados à tampa ou podem mesmo fazer parte da tampa e apenas ser maquinado o diâmetro após injeção. Ambas as peças (corpo e tampa), são acopladas por parafusos (4) e a vedação entre elas é feita por um vedante (5) plano. Este vedante pode ser num de dois materiais (já utilizados em outros produtos para a mesma função), são eles o NBR ou um compósito de cortiça com NBR.

A principal mais valia desta solução é a garantia de especificações geométricas e de tolerâncias, e é uma solução semelhante a uma já existente em produção. Outro fator positivo é que a geometria de fixação à válvula de gás pode fazer parte do corpo principal e assim minimizar o número de componentes e a possibilidade de fuga tendo em conta que existe menos uma zona de vedação.

O fator negativo é mesmo o custo e a complexidade elevada por o conjunto ter muitas peças, exemplo disso é o elevado número de parafusos necessário para fecho do conjunto que, será sempre maior quanto maior for a capacidade do aparelho.

### 5.3.2. Proposta 2: Corpo e tampa em chapa – versão 1



**Figura 9 - Corpo e tampa em chapa, versão 1 (conjunto montado e vista em corte)**

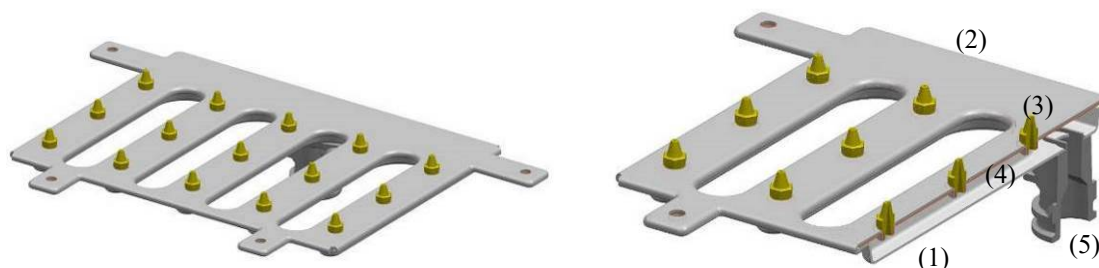
Nesta versão, o corpo (1) e a tampa (2) são em chapa de aço estampadas.

O corpo é estampado para gerar uma gola de material onde se executará a rosca com função de montagem do conjunto. Os injetores são furos puncionados diretamente na tampa. De seguida monta-se o vedante (3), em material NBR ou num compósito de cortiça com NBR, no corpo e posteriormente a tampa é cravada a este.

O fator positivo desta solução é o número reduzido de componentes.

Os fatores negativos são a impossibilidade de troca de injetores e a inexistência de capacidade no valor dos diâmetros dos injetores causada pela baixa durabilidade dos punções neste processo ou de outros processos que permitissem realizar estes furos (microdrilling, corte laser, etc) tendo em conta que a tolerância dos mesmos é de 15µm.

### 5.3.3. Proposta 3: Corpo e tampa em chapa – versão 2

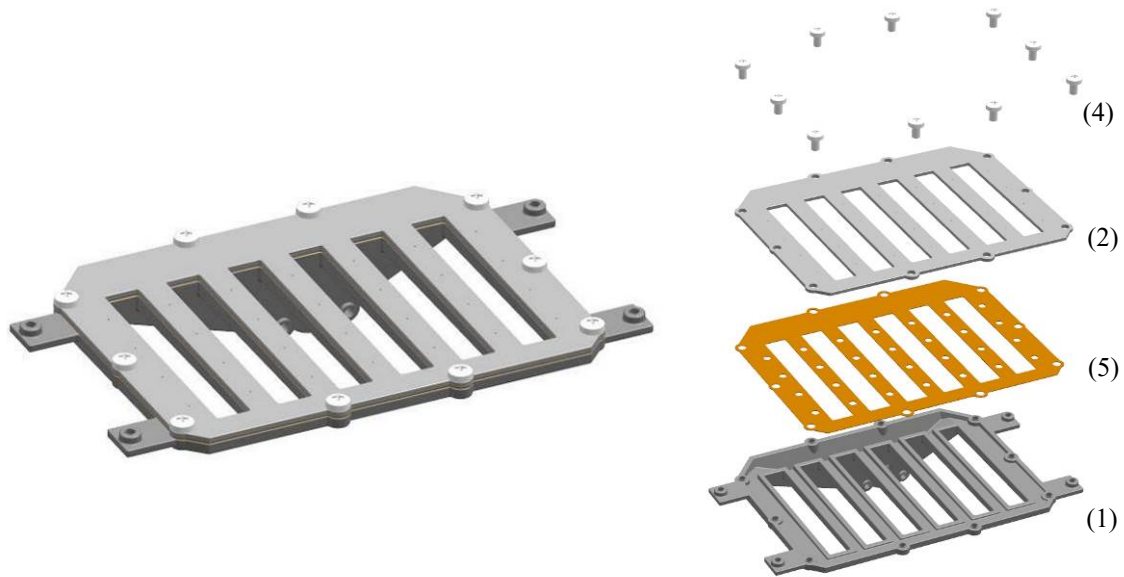


**Figura 10 - Corpo e tampa em chapa, versão 2 (conjunto montado e vista em corte)**

Esta versão é uma otimização do conceito anterior e cujo objetivo foi o de resolver o problema da capacidade dos furos injetores e da impossibilidade de troca de injetores em campo sem necessidade de troca do conjunto completo.

Temos assim que o corpo (1) e a tampa (2) são em chapa de aço puncionada e estampada para gerar os canais para distribuição de gás e a tampa maquinada para montagem dos injetores (3). Por último, as chapas cravadas com o vedante (4) prensado em ambas. O cachimbo (5) faz parte da pré-montagem no corpo antes da cravação.

### 5.3.4. Proposta 4: Corpo injetado e tampa em chapa



**Figura 11** - *Corpo injetado e tampa em chapa (conjunto montado e conjunto explodido)*

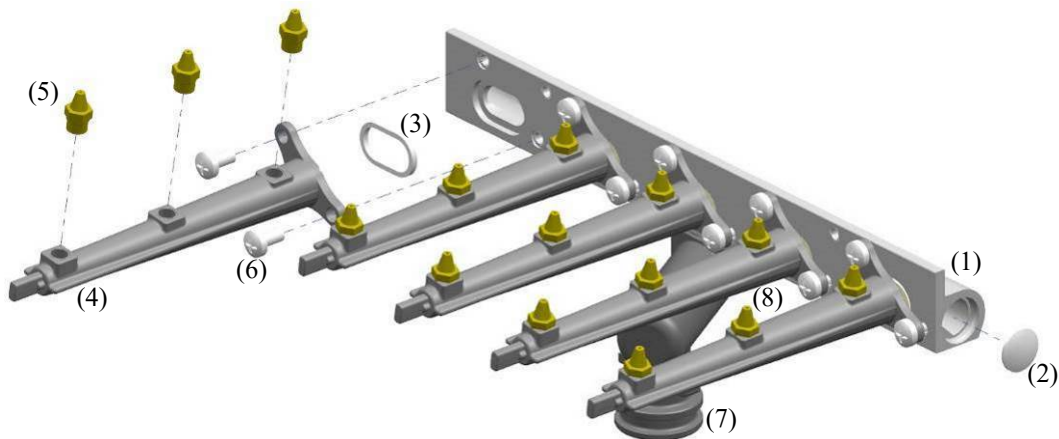
Nesta versão, o corpo (1) é injetado e posteriormente maquinado.

A tampa (2) é em chapa de aço e puncionada.

O vedante (5) é comprimido entre o corpo e a tampa e as taxas de compressão são garantidas por batentes ao aparafusamento (4) da tampa no corpo.

Esta versão não chegou a ser prototipada pois era equivalente à primeira solução, exceto a tampa que é em chapa, mas sem injetores montados uma vez que os mesmos são furos puncionados diretamente na tampa.

### 5.3.5. Proposta 5: Régua extrudida e elementos injetores modulares



**Figura 12 - Régua extrudida e elementos injetores modulares**

Nesta versão, o corpo principal é uma régua extrudida (1) cortada à dimensão consoante a capacidade. Posteriormente é maquinada nas extremidades (para cravação e rebordeamento das tampas (2) que são em chapa de aço inoxidável), e na face de assentamento dos elementos injetores (para sua fixação por parafusos).

A vedação nesta ligação é feita por uma anilha de cartão (3).

Os elementos injetores modulantes (4) são obtidos por injeção de alumínio e posteriormente maquinados para fixação dos injetores (5). Cada um destes elementos é fixo à régua por parafusos (6).

Também nesta versão, os injetores podem ser roscados aos elementos injetores ou podem mesmo fazer parte destes e apenas ser maquinado o diâmetro após injeção.

A ligação à válvula de gás é feita com um cachimbo (7) obtido por injeção de alumínio. Esta ligação também é feita por parafusos (os mesmos que os de fixação dos elementos injetores), e a sua vedação por um vedante-B (8) de cartão com forma retangular.

O grande fator positivo desta versão é a modularidade, que permite usar sempre o mesmo elemento independentemente da capacidade do aparelho e desta forma minimizar os investimentos.

O fator negativo é instabilidade do conjunto e respetiva tendência para o desalinhamento dos injetores o que não é de todo favorável ao escoamento na mistura gás/ar.

## 5.4. Matriz de decisão

Após análise e discussão em *Brainstorm* (pela equipa multidisciplinar de projecto), das propostas mencionadas no ponto anterior, pretende-se resumir na tabela 1, os principais parâmetros comparativos das várias propostas. Esta matriz ajudou na apresentação, discussão e tomada de decisão sobre qual o conceito a avançar para a fase de desenvolvimento da amostra-B.

	Corpo e tampa injetados	Corpo e tampa em chapa versão 1	Corpo e tampa em chapa versão 2	Corpo injetado e tampa em chapa	Régua extrudida e elementos injetores modulares
Número de componentes	Corpo Tampa Vedante Injetores Parafusos	Corpo Tampa Vedante-A Cachimbo Vedante-B	Corpo Tampa Vedante-A Cachimbo Vedante-B	Corpo Tampa Vedante Parafusos	Régua Tampas Vedante-A Injetores Elementos Vedante-B Parafusos
	▲	●	●	▲	■
Processamento dos componentes	Injeção Vulcanização Maquinação	Estampagem Vulcanização Injeção	Estampagem Vulcanização Injeção	Injeção Maquinação Vulcanização	Extrusão Estampagem Vulcanização Maquinação Injeção
	■	■	■	●	■
Tempo de montagem	■	●	●	▲	▲
Facilidade de manutenção	●	▲	●	▲	●
Capabilidade	●	▲	●	▲	▲
Custo de industrialização (ferramentas, gabaritos, etc)	▲	●	●	■	■
Custo do conjunto	▲	●	●	■	■
● bom; ■ médio; ▲ mau					

**Tabela 1 - Matriz de decisão**

Como resultado final temos:

- Necessitaremos sempre que o cachimbo seja injetado pela sua complexa geometria. Nas versões com corpo injetado (em que o mesmo faça parte do corpo), o molde será extremamente complexo;
- O aperto do cachimbo ao corpo será com parafusos e a sua vedação por um vedante plano;
- O corpo pode ser injetado, em chapa ou extrudido;
- A tampa pode ser injetada ou em chapa, mas sempre com necessidade de maquinaria;
- Os injetores podem ser puncionados, roscados ou cravados na tampa;
- A vedação entre o corpo e a chapa será sempre por um vedante com geometria complexa;
- O número de componentes está diretamente ligado à capacidade do aparelho, isto é, quanto maior a capacidade maior o número de injetores. Acresce que nas versões em que o acoplamento da tampa ao corpo seja feito por parafusos, o número de parafusos do conjunto irá aumentar, logo, aumenta o tempo de montagem e por sua vez o custo.

Da matriz de decisão obtemos como resultado que a melhor solução é a de corpo e tampa em chapa na sua segunda versão. Esta apresentou pontos fortes em quase todos os parâmetros avaliados, por exemplo, a fácil manutenção (que é um requisito), chapas (corpo e tampa) rebordadas (cravadas) no corpo que beneficia a montagem e minimiza o número de componentes, tampa em alumínio que beneficia a estanquidade do sistema e usar injetores já existentes montados com processo de roscagem (já utilizado na fábrica).

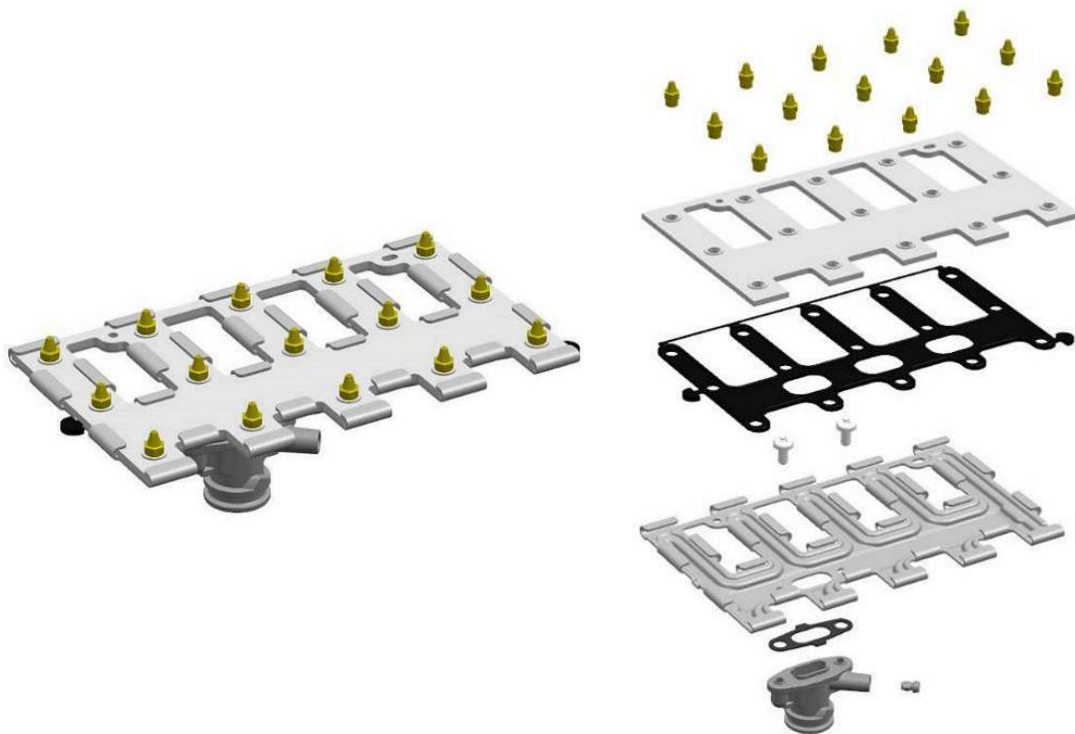


## 6. Fase de desenvolvimento – Amostra-B

Nesta fase, mudamos de fase de projecto e o foco passa a estar na solução, sua otimização e processo produtivo deste conceito.

### 6.1. Solução escolhida: Corpo e tampa em chapa – versão 2

Das várias discussões e iterações desta solução, foram implementadas otimizações até chegar ao design final, amostra B3, como ilustrado na figura 13.



**Figura 13 - Conjunto montado e conjunto explodido**

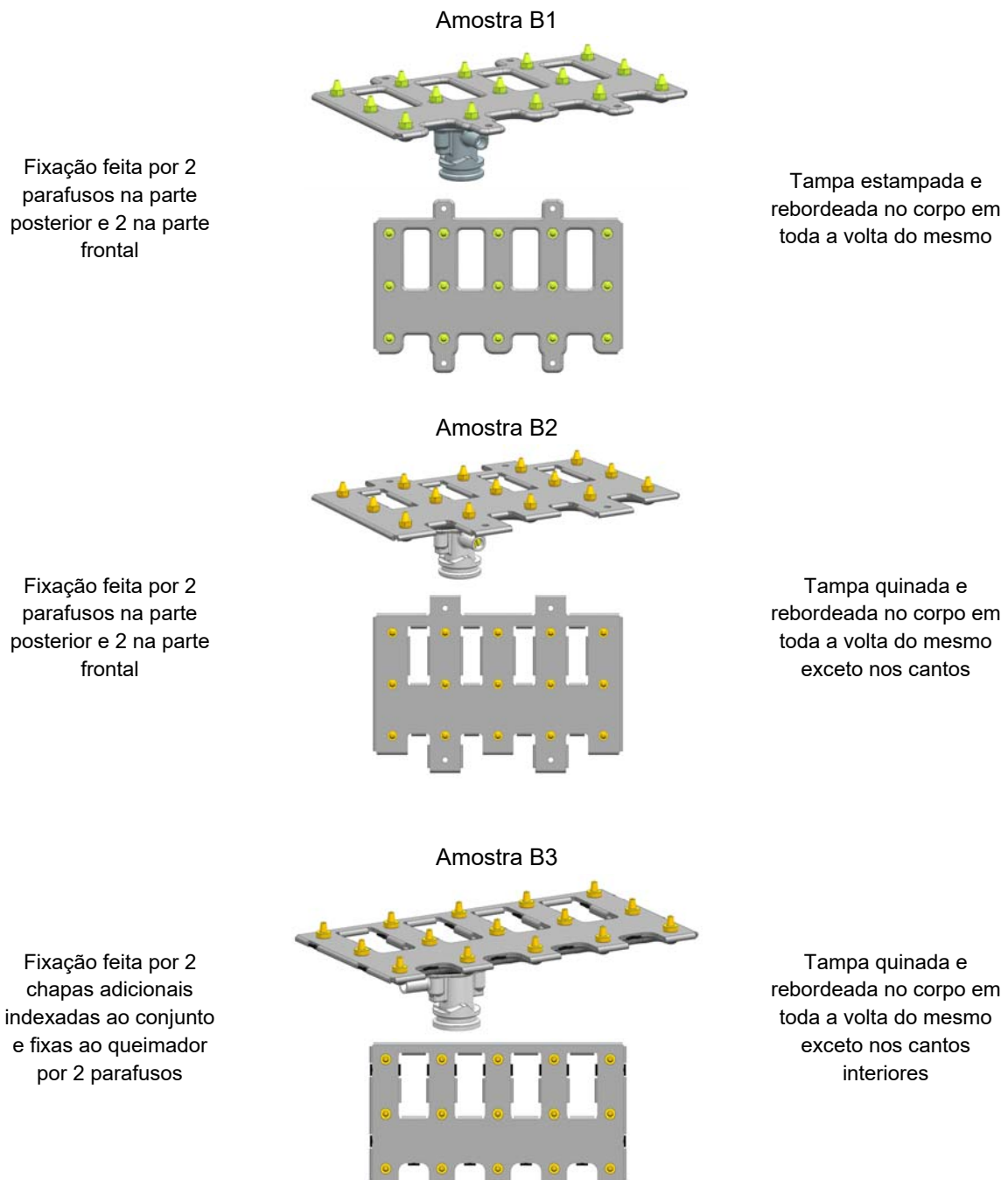
Dessas várias iterações, destacam-se a fixação do conjunto ao queimador e o processo de cravação da tampa ao corpo.

A fixação do conjunto ao queimador é importante no sentido de assegurar o alinhamento entre os injetores de gás e a entrada das flautas do queimador dentro das tolerâncias funcionais na zona de mistura gás/ar primário. A figura 14 ilustra o design da amostra B, nas suas iterações B1, B2 e B3, quanto às soluções de fixação.

A cravação tem por principal objetivo a garantia de estanquidade do conjunto e a complexa geometria dos canais do caminho de gás no corpo estampado, provocou a necessidade que a cravação fosse reforçada não só na periferia do conjunto, mas também nas laterais de cada um destes canais. Do processo de cravação concluiu-se que cantos não poderiam ser cravados (como ilustrado nas figuras 9 e 10) e que a cravação só poderia ser efetuada por segmentos lineares.

Desta cravação, derivou que o vedante-A tivesse simultaneamente algumas iterações, sempre a acompanhar os ajustes na geometria do corpo e tampa de forma a assegurar a estanquidade do conjunto. Neste componente, as iterações mais significantes foram a nível de criar geometrias adicionais para melhorar a montagem e identificar, pelo teste de estanquidade, se o vedante está ou não montado assim como a de inserir uma gola de material no seu contorno para absorver as tolerâncias do corpo, tampa e processo de cravação.

A figura 14 ilustra o design da amostra B, nas suas iterações B1, B2 e B3, quanto às soluções de cravação da tampa ao corpo.



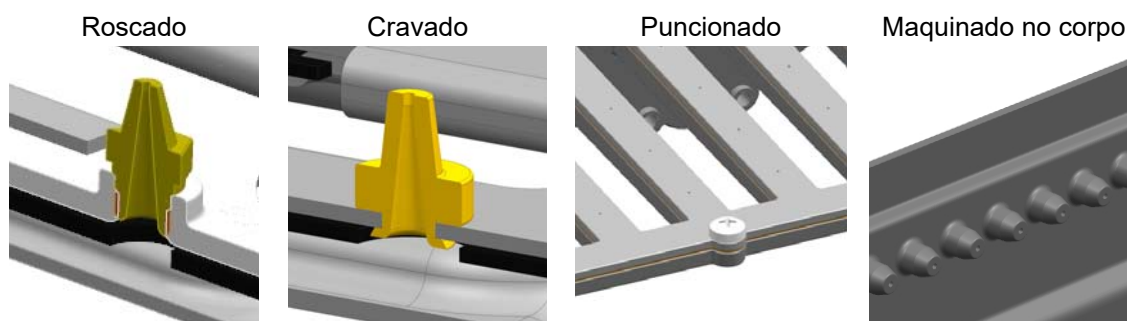
**Figura 14 - Fixação do conjunto ao queimador nas iterações B1, B2 e B3**

O corpo teve adaptações para garantir áreas internas de passagem do gás assim como áreas externas de passagem de ar principal. Outra iteração foi a de gerar uma face plana em todo o canal de distribuição interno principal de forma a que, do surgimento de duas diferentes versões por capacidade (assimétrica e simétrica conforme ilustrado na figura 16), o processo de conformação do corpo seja sempre igual e a diversidade seja feita no último passo da ferramenta.

O cachimbo teve duas iterações, na parte interna por motivos processuais, e no topo para garantia de posicionamento adequado do vedante-B (ilustrado na figura 17).

O vedante-B apenas foi atualizado para acompanhar a geometria da base de assentamento deste ao cachimbo para garantia de vedação e facilidade no seu posicionamento.

Iterações também na forma de fixação dos injetores. Havia disponíveis 4 tipos de fixação: roscados, cravados ou puncionados e ainda a opção de não existirem e que a sua geometria fosse parte integrante do corpo injetado.



**Figura 15 - Conjunto montado e conjunto explodido**

A opção roscada é já conhecida pois é a utilizada em todas as gamas de aparelhos mencionadas na figura 4. A opção cravada não deu garantias de estanquidade. A opção puncionada não dava garantias de capacidade no processo e necessitava de um controlo rigoroso. A opção de serem parte integrante do corpo injetado implicaria que a conversão do tipo de gás no cliente fosse extremamente mais cara pois não se substituiriam apenas os injetores, mas sim o conjunto completo. Assim, a solução foi a de usar os injetores roscados cujas vantagens são não necessitar de novas peças e o processo é já existente e conhecido.

Derivado desta escolha, a tampa deixou de ser em chapa de aço para ser em chapa de alumínio. Isto deveu-se a que a vedação entre o injetor e a tampa é feita por deformação do material da tampa (por este ser mais dúctil), o que não se verificava na tampa em chapa de aço. A sua espessura também alterou para ter comprimento suficiente de rosca para fixação dos injetores. Outra alteração na tampa, foi a subtração das geometrias de guiamento ao queimador (ilustradas na figura 10), pois passou a ser assegurado por outro componente.

Tendo em conta o sistema do qual este conjunto faz parte, informações fundamentais para o design final surgiram de *Brainstorm* e de FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) de Produto e de Processo, para atingir os objetivos de usar componentes existentes, não aumentar os bordos de linha (locais específicos para posicionamento de componentes de forma ergonómica), usar processos logísticos internos e outros processos atualmente existentes na produção para minimização dos investimentos, usar meios de controlo simples e rápidos para não aumentar os tempos de processo e de montagem. [5]

## 6.1.1. Componentes

Este conjunto é composto por 7 componentes:

- Corpo
- Cachimbo
- Vedante-B
- Parafusos de fixação
- Vedante-A
- Tampa
- Injetores

### 6.1.1.1. Corpo

O corpo é em chapa de aço de construção de baixa liga.

O código do material segundo a Chave de Aços é o 1.0952 cuja abreviatura é DX54D+AS100 em conformidade com a norma EN 10346.

Este material é indicado para chapa a ser processada por estampagem para garantia da capacidade no processo. Este material, quando comparado com o DX51D+AS100 (o mais comercializado), possui uma resistência à tração dentro de uma gama mais apertada e uma resistência à fratura superior, isto é, o DX54 é mais estável que o DX51 quando processado.

O revestimento é em alumínio-silício (AS) com espessura de revestimento de 12 a 23  $\mu\text{m}$  por cada face da chapa de aço. Este revestimento é importante porque tem uma alta resistência à temperatura assim como resiste aos compostos corrosivos (enxofre, mercaptanos, etc), existentes no GN e o GPL, que podem comprometer a durabilidade do material. Este é o material escolhido por ser o mesmo utilizado em outros componentes com a mesma função e cuja utilização é em larga escala na empresa, testada e conhecida o que a torna como a melhor solução a nível de custo de material e garantia de qualidade.

A sua forma final é obtida através de uma prensa progressiva onde a chapa é cortada para dar a sua forma e contorno, depois é estampada para gerar os canais para distribuição de gás e novamente cortada para obter as furações de fixação do cachimbo.



**Figura 16 - Corpo em chapa e estampagem**

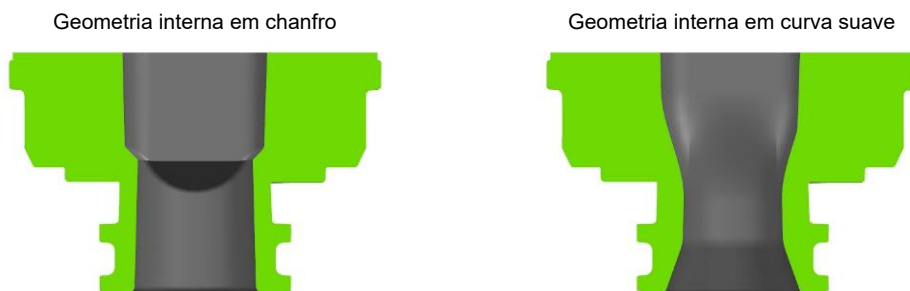
É neste último passo que se implementa a diversidade, isto é, para cada capacidade existem duas versões de distribuidores de gás que se distinguem apenas pelo posicionamento das três furações para o canal de passagem de gás e para fixação do cachimbo. Ambas as versões (assimétrica para o design-A e simétrica para o design-B), são para ligação do ponto de saída da válvula de gás à entrada do queimador.

### 6.1.1.2. Cachimbo

A junção à válvula de gás é feita com um cachimbo obtido por injeção de alumínio.

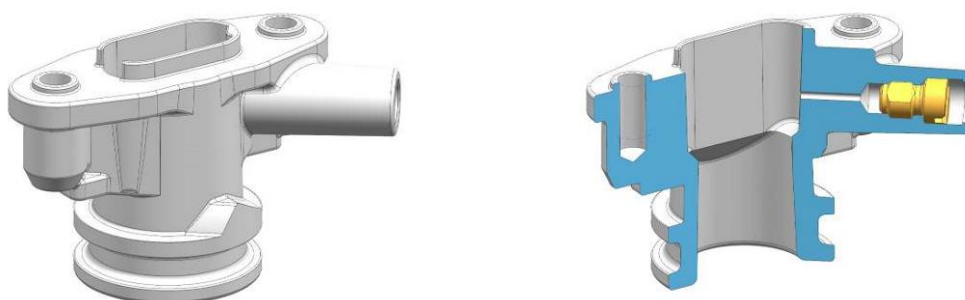
Optou-se por este processo por vários motivos: pela complexidade da geometria da peça ilustrada nas figuras 17 e 18, pela garantia de resistência mecânica e pelo preço final, fator claramente decisivo.

A liga de alumínio fundido é a EN AC-AI Si9Cu3(Fe) e código do material é EN AC-46000 em conformidade com a norma EN 1706.



**Figura 17 – Cachimbo – vista em corte do interior**

A figura 17 ilustra o interior do cachimbo. Numa primeira iteração (em curva suave), o design foi realizado em suaves superfícies para minimizar mudanças abruptas de área provocando turbulência que levaria a um aumento de perda de carga. Este design teve de ser alterado por indicações do fornecedor devido a problemas de processo bem como a necessidade de movimentos adicionais no molde que levariam a um aumento do tempo de processamento e logo um aumento de custo. Na iteração seguinte (em chanfro), foi alterada a geometria interna, mas este levantou questões sobre o aumento da perda de carga. Para quantificar este receio, realizou-se uma análise de CFD (Dinâmica dos Fluidos Computacionais), em que se concluiu que a diferença de perda de carga entre ambas as soluções era menor que 0.1% (ver capítulo 6.3.2.2.), o que tornou fácil a decisão final sobre que geometria optar, a versão em chanfro (figura 18).



**Figura 18 – Cachimbo design final – vista normal e vista em corte**

Esta peça tem a função de ligar o novo conjunto de distribuição e injeção de gás à já existente válvula de gás. Outra função é a de permitir efetuar a leitura da pressão de gás à saída da válvula e assim medir a queda de pressão do sistema de gás. A figura 18 mostra o cachimbo em corte com o parafuso de tomada de pressão montado e o canal de  $\varnothing 1^{(+0.2/-0)}$  mm conforme especificado na EN26

A face de topo, face que estará em contacto com o vedante-B, tem um acabamento superficial de valor Rz max 32 (conforme diretiva de gás da Bosch) para melhor garantia da vedação. Também tem nervuras à volta do canal de passagem de gás para fácil montagem e posicionamento do vedante-B assim como dois castelos de altura calibrada para garantia das taxas máximas e mínimas de compressão do vedante-B. [1]

### 6.1.1.3. Vedante-B

O vedante-B é em NBR, homologado para vedação de gás segundo a EN 549 – Vedantes e diafragmas em material de borracha para aparelhos a gás e equipamentos a gás.

Segundo esta norma e olhando para a sua função que é garantir a vedação entre o corpo do distribuidor e o cachimbo, este vedante é do tipo Vedante Estático – *“Componente que assegura uma vedação entre duas partes de um aparelho a gás ou partes de equipamento a gás que não têm movimento relativo.”*.

A classificação do material, tendo em conta a gama de temperaturas de funcionamento, é de -20°C a +80°C com uma dureza nominal declarada de 70 IRHD. Desta forma, a especificação do material segundo a EN 549 é NBR B2/H3.

Este é obtido por vulcanização, um processo que consiste na aplicação de calor e pressão a uma composição de borracha, a fim de dar a forma e propriedades do produto final.

A sua geometria é simétrica de forma a facilitar a sua montagem no cachimbo.



Figura 19 - Vedante-B

O cálculo das taxas de compressão para garantia de vedação na longevidade do componente será apresentado no capítulo [6.3.4.](#)

#### 6.1.1.4. Parafusos de ligação

Os dois parafusos ISO 7045-M5×12-4.8-Z, têm a função de fixação do cachimbo ao corpo assim como a garantia da compressão do vedante-B através do aperto.

A escolha do material é extremamente importante pois esta fixação é garantia de que não haja fuga de gás e posteriormente acidentes críticos. Um desses graves problemas é a fragilização por hidrogénio, também conhecida por *Hydrogen Embrittlement*.

Este é um fenómeno que provoca a perda de ductilidade num material, tornando-o assim frágil e nesta aplicação, dependendo do torque aplicado no seu aperto, pode ser atingido o ponto de rotura com o aparelho em funcionamento levando a uma fuga e perigo de explosão visto ter a função de garantia de estanquidade.

*“A fragilização por hidrogénio é responsável por um número surpreendente de falhas e problemas com produtos produzidos a partir de arame, especialmente se forem submetidos a operações de processamento secundários tais como revestimento. Os fatores responsáveis por este tipo de falha incluem ter materiais suscetíveis, um ambiente condutor de ataque e a presença de stress (interno ou aplicado). Uma vez que dois destes três fatores estão presentes, a falha é inevitável. Os materiais mais vulneráveis incluem aços de alta resistência, titânio e ligas de alumínio e cobre de passo eletrolítico. Os mecanismos de fragilização do hidrogénio podem ser aquosos ou gasosos e envolvem a entrada de hidrogénio no metal, reduzindo a sua ductilidade e capacidade de carga. O stress abaixo do limite de elasticidade do material suscetível provoca subsequente rachaduras e falhas catastróficas frágeis.” [7]*

Por este motivo, o revestimento especificado foi conforme a DIN 50979 -Revestimentos metálicos-Revestimentos galvanizados de zinco e ligas de zinco em ferro ou aço com tratamento suplementar livre de Cr (VI), com passivação iridescente (passivação de filme espesso) / não selada. Novamente, estes parafusos são já utilizados na empresa em larga escala em funções idênticas com bons resultados de qualidade, daí a escolha deste parafuso.

#### 6.1.1.5. Vedante-A

O Vedante-A é, como o vedante-B, também em NBR e processado da mesma forma. A sua função é garantir a vedação entre o corpo e a tampa. Como ilustrado na figura 19, possui duas geometrias nas laterais com dupla função, por um lado para ajudar na montagem ao corpo e por outro para que durante o ensaio de estanquidade seja detetado que o mesmo se encontra de facto montado no conjunto, isto é, caso não esteja montado no conjunto, o teste terá uma fuga franca que é no imediato detetada. Outra característica geométrica deste vedante é que em todo o contorno exterior funcional tem uma sobre espessura que serve para garantir as taxas de compressão mínima e máxima mesmo após os “n” de ciclos de teste que simulam os 15 anos de durabilidade especificado.

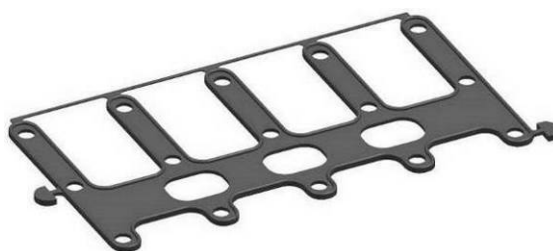


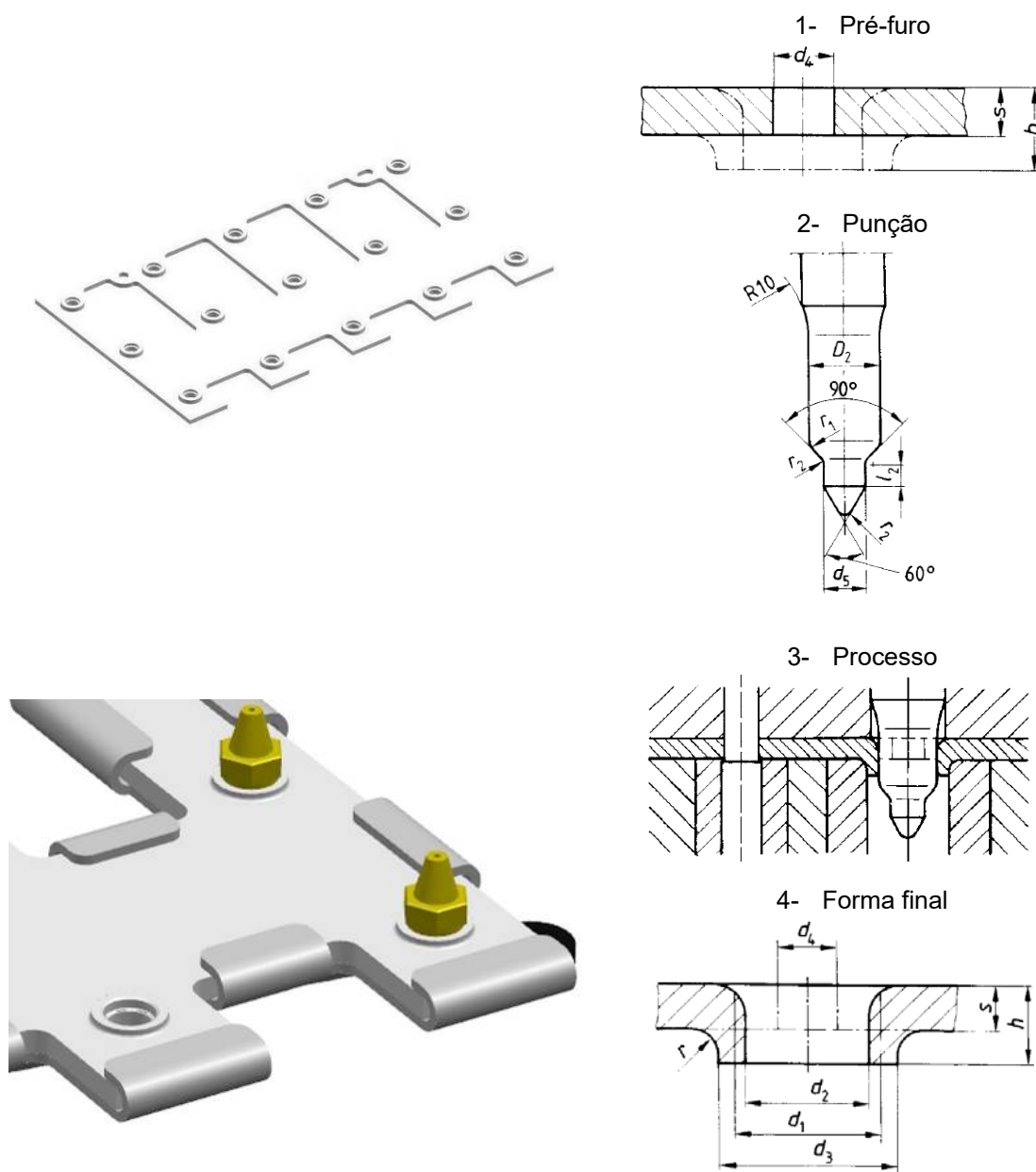
Figura 20 - Vedante-A



### 6.1.1.6. Tampa

A tampa é em chapa de alumínio. A liga de alumínio tem a designação EN AW-Al Mg2,5 e código do material é EN AW-5052 em conformidade com a norma EN 573-3.

A tampa é cortada para dar a sua forma e contorno e seguidamente estampada para gerar uma “gola” de material onde se executará a rosca com função de montagem dos injetores. Esta geometria é normalizada conforme a norma DIN\_7952. A seguinte figura mostra os passos para a obtenção desta geometria. Tem a função de acoplar os injetores e de garantir a estanquidade do conjunto.



**Figura 21 - Geometria normalizada para gerar rosca para montagem dos injetores**



### 6.1.1.7. Injetores

Os injetores são em latão.

A liga de cobre e zinco tem a designação CW614N e código do material é CuZn39Pb3 em conformidade com a norma DIN CEN/TS 13388.

São obtidos por arranque de apara (ou maquinação) num torno tendo por base uma barra de material de geometria sextavada.



**Figura 22 – Injetor: Vista normal e em corte**

O injetor tem a função de regular a quantidade de gás (em função do delta de pressão), injetado do distribuidor de gás para o queimador. Esta regulação é feita através do furo calibrado do injetor que define o caudal do gás. Temos, a título meramente indicativo, que a equação de descarga no orifício é:

$$Q = A \cdot C_d \cdot \sqrt{(2 \cdot \Delta P / \rho)} \cdot 3600$$

Em que:

$Q$ =caudal  $m^3/h$  •  $A$ =Área  $m^2$  •  $C_d$ =coeficiente de descarga •  $\Delta P$ =pressão  $Pa$  •  $\rho$ =densidade  $kg/m^3$

(com  $C_d$  e  $\rho$  dependentes do fluído)

A sua geometria cónica interna serve para aumentar o coeficiente de descarga, ou seja, diminui a perda de carga do injetor permitindo descarregar o mesmo gás com um orifício inferior, que resulta numa velocidade de jato superior. A geometria cónica externa serve para arrastar o ar e dar início à mistura primária entre ambos os fluídos. O furo do injetor de gás tem grande importância no sentido em que é ele que determina a chama máxima (potência) do queimador, pois afeta diretamente a área de passagem de gás ( $A$ ), e como a potência do queimador é  $Q \cdot H_i$  (poder calorífico inferior de cada gás) vai afetar a potência do aparelho, assim, para cada tipo de gás existe um injetor próprio.

Todo injetor tem uma marcação do diâmetro do furo. Assim, na necessidade de conversão do tipo de gás do esquentador, é fácil a verificação do injetor de diâmetro adequado ao ótimo funcionamento do aparelho.

Os injetores são os já existentes na produção noutros aparelhos. Desta forma permite que a diversidade, atualmente existente por motivos de requisitos de diferentes mercados, não aumente o que é favorável para futura expansão da gama por novos mercados.

### 6.1.2. Sequência de montagem

A montagem do conjunto é proposto ser na seguinte sequência:

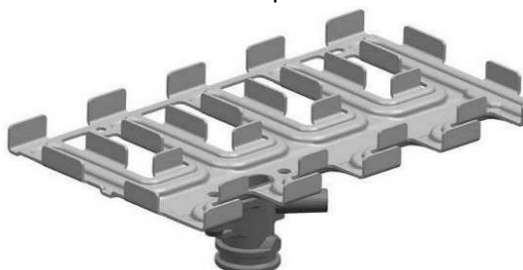
1- Colocação do cachimbo no gabari



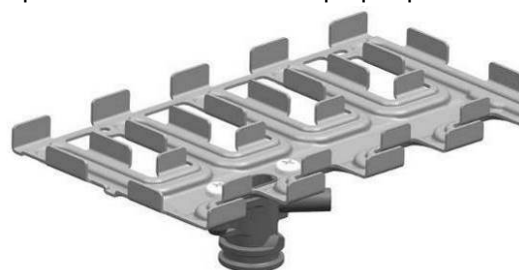
2- Posicionamento do vedante-B no cachimbo



3- Guiamento do corpo no cachimbo



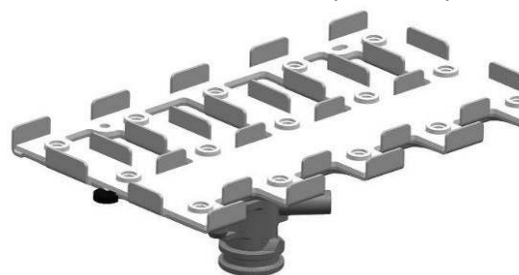
Aperto do cachimbo ao corpo por parafusos



5- Posicionamento da Vedante-A no corpo



6- Posicionamento da tampa no corpo



7- Cravação do corpo à tampa



8- Montagem dos injetores



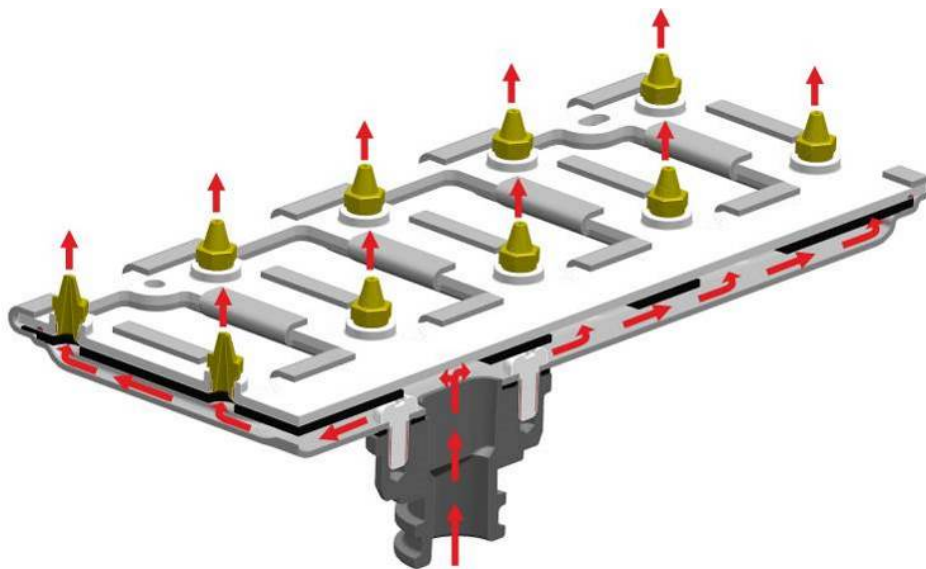
**Figura 23 - Sequência de montagem do conjunto**

## 6.2. Teste de estanquidade

A montagem do conjunto é feita de forma semi-automática, recorrendo a dispositivos de guiamento (ou gabaritos de montagem), para ajudar os operadores e minimizar os tempos de cada operação de alinhamento, cravação e/ou aperto. Desta forma minimizam-se variações e tolerâncias de processo para cumprimento do requisito de alinhamento dos injetores com o queimador.

Após a montagem do conjunto é necessário validar o mesmo quanto à sua estanquidade. Todos os conjuntos são testados para garantir que a cota de fuga está a baixo do valor especificado (a baixo de 70 cm<sup>3</sup>/h para uma pressão de 150 mbar).

O teste é realizado com ar, este é injetado na entrada do cachimbo (estando os injetores tamponados), e vai percorrendo os vários canais até toda a câmara estar cheia e é registada a perda de pressão. Se o valor for a baixo do especificado, o teste é positivo e o conjunto recebe uma marcação de validação do teste e pode ser usado para o processo de montagem no respetivo aparelho ou embalado para peça de substituição. Se o valor for a cima do especificado é considerado não conforme e segregado.



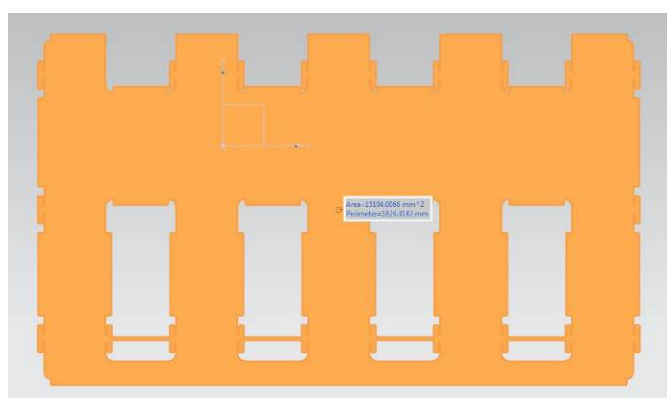
**Figura 24 - Caminho de gás no circuito**

## 6.3. Cálculos, análises e simulações

Para minimizar o número de iterações, testes, protótipos e principalmente tempo, foram realizadas vários cálculos, análises e simulações em várias áreas.

### 6.3.1. Análise da área de obstrução de passagem de ar primário


Para a garantia de mistura de ambos os fluidos (gás e ar), é necessário um determinado caudal. O caudal de gás é definido pelos injetores e o de ar é definido pela área envolvente ao conjunto. A figura 25 ilustra a área de obstrução de passagem de ar do conjunto de capacidade 11 lts, calculada pelo software de CAD.



**Figura 25 – Análise da área de obstrução de passagem de ar provocada pelo conjunto**

O estudo foi realizado para todas as quatro capacidades e foram realizados testes em laboratório para validação dos resultados.

Exemplo para a capacidade de 11 lts, o objetivo de área de passagem é de 150000mm<sup>2</sup>. Este valor está no limite, mas ainda permite uma base de assentamento para o vedante-A.

A – área de passagem de gás		Iteração	A1	L1	L2	L3
L1 – Largura para aumento do vedante		Bom em minimizar a perda de carga	●	▲	■	150000 (mm <sup>2</sup> )
L2 – Batente mecânico		Bom em garantia de tolerâncias de vedação	▲	■	■	150000 (mm <sup>2</sup> )
L3 – Ar primário		Compromisso entre ambos os parâmetros anteriores	■	■	■	150000 (mm <sup>2</sup> )
● bom; ■ médio; ▲ mau						

**Tabela 2 - Análise da área de obstrução de passagem de ar provocada pelo conjunto**

Esta área de passagem dependeu essencialmente do compromisso entre:

- Secções de passagem de gás internas (aumento da área de passagem de gás);
- Área de assentamento para o vedante-A (garantia de largas tolerâncias na vedação);
- Sobreposição dos rebordados (cravação da tampa ao corpo).

## 6.3.2. Cálculos de perda de carga do conjunto em CFD

### 6.3.2.1. Perda de carga do conjunto

Da análise anterior, resultou a ação de efetuar outras análises em CFD (Dinâmica de fluidos Computacional) para validação da redução da área de passagem de gás no interior do distribuidor de gás nas suas 3 iterações.

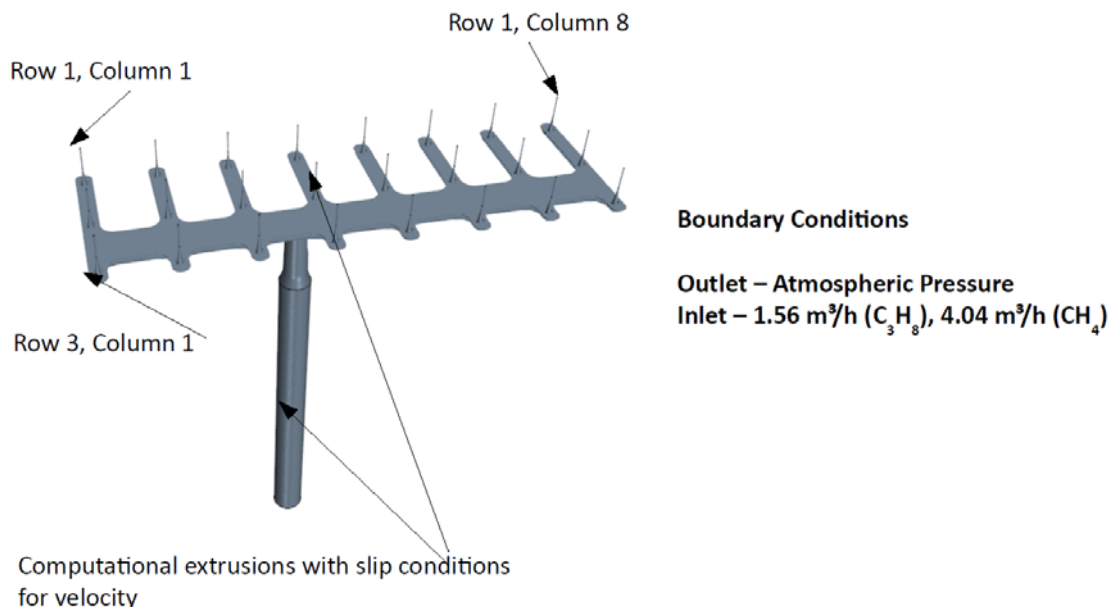
Os cálculos foram feitos para dois gases diferentes,  $\text{CH}_4$  (GN=Gás Natural ou Metano) e  $\text{C}_3\text{H}_8$ , (GPL=Gás Líquido ou Propano) onde os diâmetros de saída são  $\varnothing 0,62\text{mm}$  e  $\varnothing 1,00\text{mm}$ , respetivamente, pressão de saída igual à pressão atmosférica e os resultados comparados.

Mostra-se aqui um desses cálculos, o caso mais crítico, isto é, o conjunto de maior dimensão que tem o injetor mais afastado; trata-se do distribuidor de gás para o aparelho de capacidade 18 lts.

Os objetivos são:

- Analisar a perda de carga em função da diminuição da área de passagem de gás – valor pretendido: delta máximo entre injetores  $<40\text{Pa}$  em GN;
- Analisar a distribuição do fluxo de massa para cada injetor;
- Quantificar a pressão de entrada do componente tendo em consideração o caudal necessário para a combustão.

Os resultados são apresentados abaixo.



**Figura 26 – Cálculo da perda de carga**

CASO	CH <sub>4</sub> (GN) Ø1mm	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (GPL) Ø0.62mm
18 lts	1559.76	3824.65

Tabela 3 - Pressão de entrada (Pa)

Fluido	Linha\Coluna	1	2	3	4	5	6	7	8
GPL	1	3803.338	3803.606	3807.138	3804.212	3797.467	3795.154	3795.119	3794.906
	2	3804.389	3805.338	3806.52	3797.945	3798.022	3796.803	3796.88	3796.028
	3	3807.804	3807.79	3809.19	3805.415	3799.885	3798.961	3799.449	3799.283
GN	1	1506.038	1506.14	1514.728	1510.488	1489.432	1484.43	1484.198	1484.196
	2	1508.629	1511.512	1516.918	1503.511	1493.353	1489.812	1489.378	1486.662
	3	1518.524	1519.333	1521.263	1513.54	1498.876	1496.881	1497.182	1496.564

Tabela 4 – Pressão (Pa) em cada injetor

Fluido	Linha\Coluna	1	2	3	4	5	6	7	8
GPL	1	4.167	4.166	4.17	4.168	4.161	4.163	4.162	4.162
	2	4.171	<b>4.173</b>	4.17	4.162	4.167	4.167	4.169	4.167
	3	4.171	4.171	4.164	4.163	4.168	4.166	4.164	4.168
GN	1	4.166	4.171	4.18	4.177	4.148	4.136	4.137	4.14
	2	4.181	4.197	<b>4.201</b>	4.168	4.161	4.165	4.158	4.149
	3	4.188	4.197	4.175	4.167	4.152	4.159	4.162	4.164

Tabela 5 – Caudal mássico (%) por cada injetor (total 100%)

Fluido	Linha\Coluna	1	2	3	4	5	6	7	8
GPL	1	0.006	0.007	0.003	0.005	0.012	0.01	0.011	0.011
	2	0.002	<b>0</b>	0.003	0.011	0.006	0.006	0.004	0.006
	3	0.002	0.002	0.009	0.01	0.005	0.007	0.009	0.005
GN	1	0.035	0.03	0.021	0.024	0.053	0.065	0.064	0.061
	2	0.02	0.004	<b>0</b>	0.033	0.04	0.036	0.043	0.052
	3	0.013	0.004	0.026	0.034	0.049	0.042	0.039	0.037

Tabela 6 – Diferença de caudal mássico (%) entre injetores

Fluido	Linha\Coluna	1	2	3	4	5	6	7	8
GPL	1	0.14	0.17	0.07	0.12	0.29	0.24	0.26	0.26
	2	0.05	<b>0</b>	0.07	0.26	0.14	0.14	0.10	0.14
	3	0.05	0.05	0.22	0.24	0.12	0.17	0.22	0.12
GN	1	0.83	0.71	0.50	0.57	1.26	1.55	1.52	1.45
	2	0.48	0.10	<b>0</b>	0.79	0.95	0.86	1.02	1.24
	3	0.31	0.10	0.62	0.81	1.17	1.00	0.93	0.88

Tabela 7 – Desvio (%) entre injetores

Como conclusões, temos que:

- A iteração 1, com secções equivalentes à amostra-B3 (*Normal sections*) é o que tem menos diferença de perda de carga e caudal entre injetores.
- A iteração 2, com amostra-B3 tinha uma redução bastante grande de passagem de gás, o que se refletiu em 3% de variação de caudal de gás entre injetores.
- A iteração 3, com amostra-B3 otimizada, apresenta uma diferença de 1.5% para GN e de 0.3% para GPL (inferior a 1.6%) entre injetores, o que está dentro do especificado, logo, não é espectável representar um problema.

6.3.2.2. Perda de carga do cachimbo

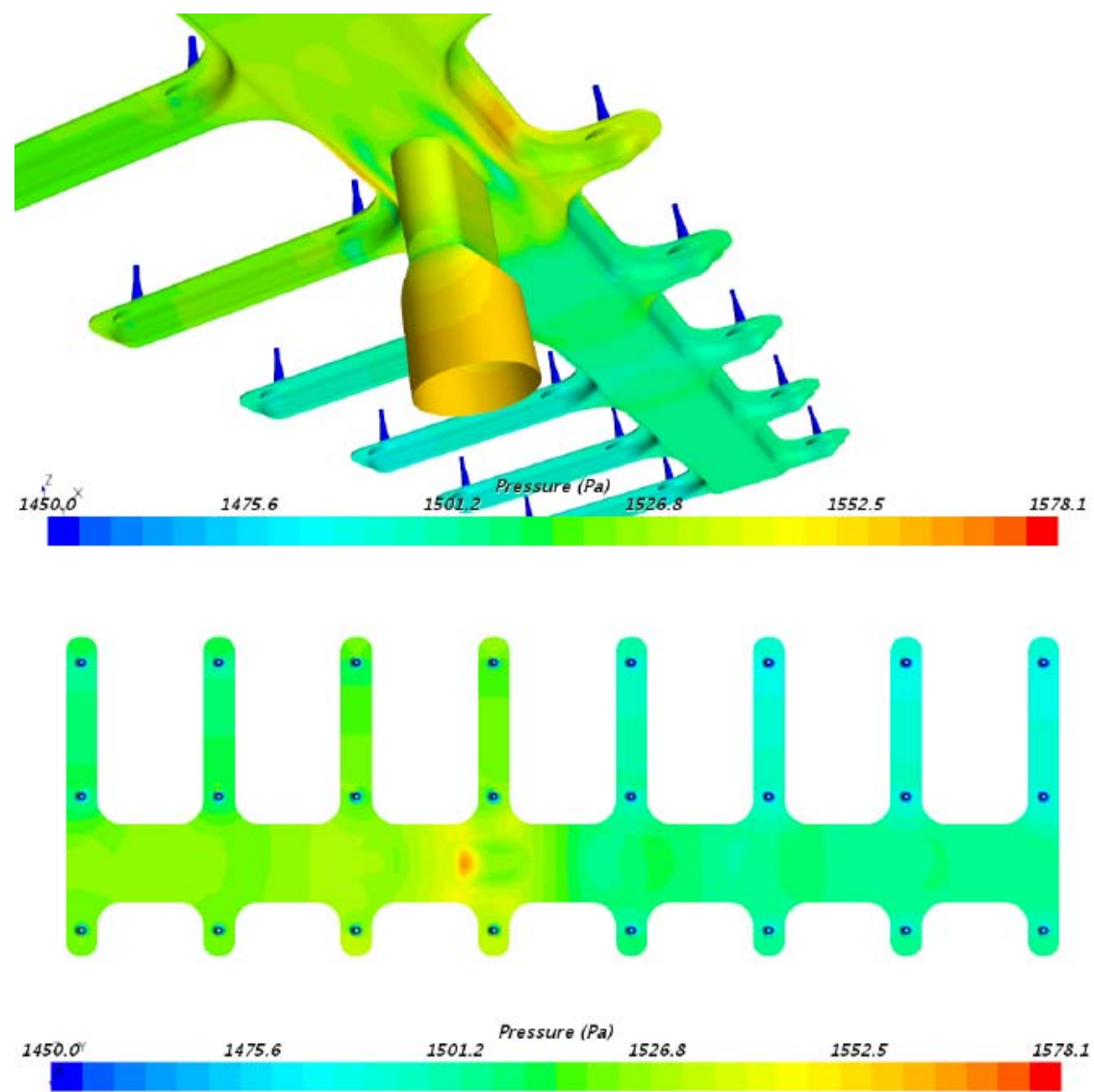


Figura 27 – Simulação da perda de carga no conjunto

CASO (iteração)	DP (Pa)
18 lts 100 Round (CH4)	1557.31
18 lts 100 Chanfers (CH4)	1555.57

Tabela 8 - Queda de pressão (Pa)



### 6.3.3. Simulação de espessura mínima do corpo

Para determinar a espessura mínima de chapa após estampagem do corpo, foram realizadas várias simulações no software Autoform. O objetivo é obter uma espessura mínima de 0.6 mm nas zonas estampadas de forma a cumprir com os requisitos normativos internos.

Destas simulações obtivemos também a indicação de qual a dimensão da prensa em termos de tonelagem necessária para a conformação do corpo.

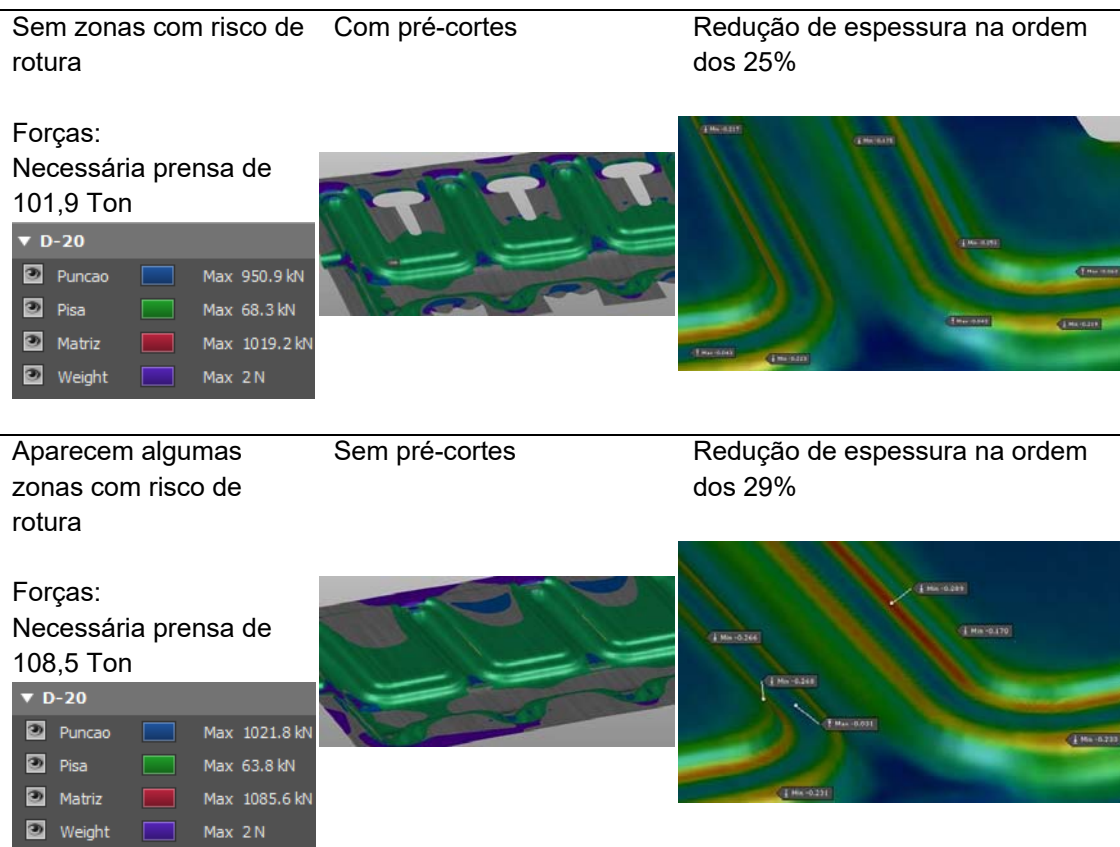


Figura 28 - Simulação de espessura mínima de chapa

No anexo 1 encontram-se as simulações de todas as capacidades de forma mais detalhada.



### 6.3.4. Cálculo das taxas de compressão dos vedantes

Para o dimensionamento dos vedantes e garantia da sua função, procedeu-se ao cálculo das taxas de compressão mínima e máxima dos vedantes. As simulações foram realizadas num software Bosch denominado por “Seal Design Assistance” (SDA), para o vedante-A e por uma folha de cálculo em Excel para o vedante-B. Os cálculos e os objetivos desta ferramenta são baseados em padrões e análises numéricas e implicam pressupostos aproximados e gerais sobre o comportamento do material, critérios de aperto e outros requisitos.

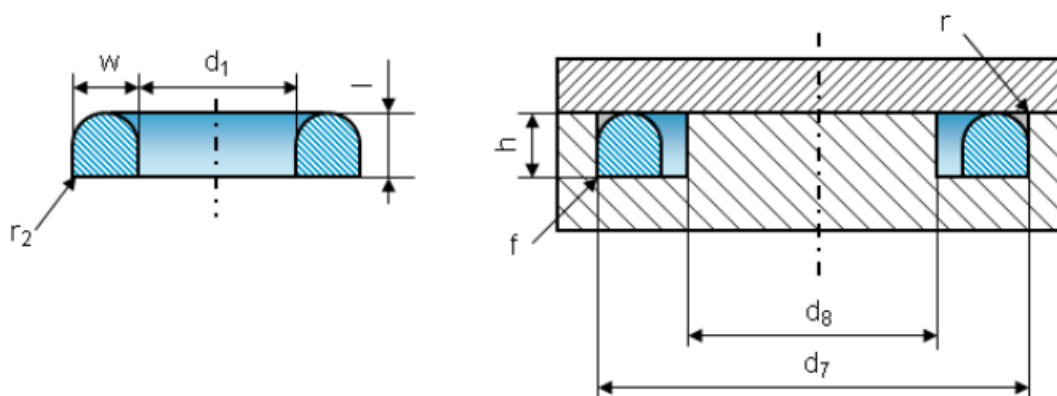


Figura 29 – Cálculo das taxas de compressão do vedante-A

A figura 29 ilustra os parâmetros dimensionais necessários para o cálculo das taxas de compressão do vedante. As fórmulas de cálculo analítico e de estimativa, bem como os valores-alvo, baseiam-se em análises numéricas e premissas gerais sobre propriedades do material, efeitos de envelhecimento e outros requisitos.

Parameter			Result			Target	
			min	avg	max	min	max
<u>Overview</u>							
IC		initial compression	-9.4%	-4.5%	0.1%	-1.0%	8.0%
CSR		cross section ratio	1.6	1.8	2.0	0.5	1.5
SC		squeeze	18.9%	25.9%	35.0%	3.0%	36.0%
SE		squeeze ecc./infl.	13.1%		35.0%	3.0%	36.0%
GFG		groove fill global	48.3%	61.1%	86.5%		90.0%
ES		extrusion safety	1.8			1.0	
<u>Contact interface</u>							
CL	[mm]	contact width	0.99	1.29	1.84		
CP	[MPa]	contact pressure	1.47	1.93	2.82		
CL2	[mm]	contact width (side 2)	1.53	1.73	2.05		
CP2	[MPa]	contact pressure (side 2)	0.61	1.03	1.84		

Tabela 9 - Cálculo das taxas de compressão do vedante-A

[1]

O facto de o parâmetro “initial compression” estar fora do aconselhado, deve-se a que a cota d8 não existe na peça, isto é, o vedante-A não se encontra comprimido a quando do seu posicionamento no corpo. A sua compressão é efetuada apenas no momento da cravação da tampa ao corpo.

O parâmetro “*cross section ratio*” também se encontra fora dos valores aconselhados e deve-se à geometria do vedante-A nesta zona ser consideravelmente mais alta do que larga.

Em todo caso, mesmo estes valores se apresentarem fora do aconselhado, o objetivo desta simulação é verificar os valores mínimo e máximo de compressão do vedante em condições limite de funcionamento (condição de montagem excêntrica, temperatura de funcionamento entre os 0°C e os 85°C e aproximadamente após 15 anos de funcionamento). Desta forma, consideramos a simulação como positiva pois estes parâmetros encontram-se dentro dos valores de referência.

Para o vedante-B, não se usou a ferramenta de cálculo “SDA” pois a mesma não está parametrizada para calcular vedantes planos. Recorreu-se a uma simples folha de cálculo Excel.

Cálculo de compressão do vedante-B	Dimensão nominal	Tolerância min. e max.		Desenho	versão	grelha	Data
Altura do vedante	1,3	-0,05	0,1	Vedante-B	04	B6	04/04/2017
Batente mecânico do cachimbo	1	-0,05	0,05	Cachimbo	04	K7	04/04/2017
Compressão máxima global	34,62%						
Compressão mínima global	15,38%						

**Tabela 10 - Cálculo das taxas de compressão do vedante-B**

O objetivo é ter as taxas de compressão entre 12% e 35% e os valores obtidos encontram-se dentro do objetivo.

De salguardar que o cálculo analítico não substitui o teste e a validação do produto para garantir uma função e uma vida útil adequadas, pelo que estas amostras se encontram em durabilidade para validação da função no limite de vida.

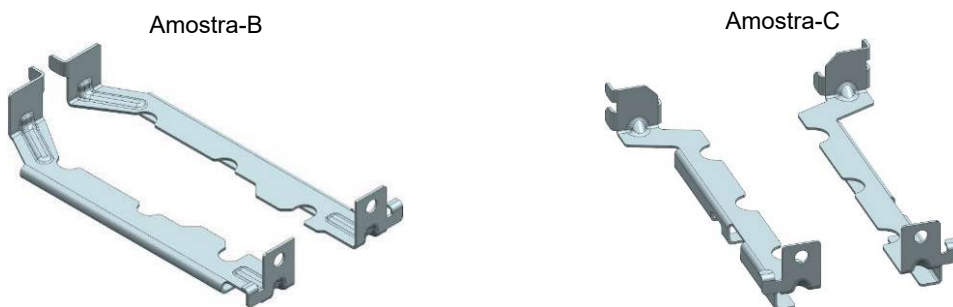
### 6.3.5. Simulação estrutural em Elementos Finitos

Estas simulações realizadas serviram para verificar o estado do suporte que liga o distribuidor de gás ao queimador também com o objetivo de verificação de melhoria das mudanças feitas entre as amostras-B e as amostras-C, pois o teste de transporte realizado ao aparelho com amostras B detetou uma fragilidade estrutural nesta ligação (figura 30). Estes suportes (figura 31) ajudam a proteger o queimador em uma posição vertical e garantem o alinhamento entre os injetores de gás e a entrada das flautas dentro das tolerâncias funcionais.

A simulação foi feita com um único corpo que consiste nos suportes esquerdo e direito e nas chapas do corpo e da tampa. Uma única carga de 100N é usada em cada simulação.

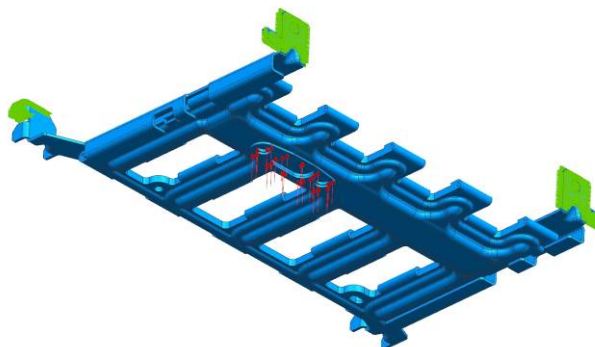


**Figura 30 – Resultado do teste de transporte com amostra-B**



**Figura 31 – Suportes de fixação do distribuidor de gás ao queimador**

Em todas as simulações, uma única força foi aplicada ao corpo. A força é aplicada na totalidade da área de contato que garante a compressão da junta entre o corpo e o cachimbo. Isso simula o impacto dos componentes de gás e água numa superfície plana, saltando para cima empurrando o distribuidor de gás. Esta força e as restrições ao deslocamento estão visíveis na figura 32.

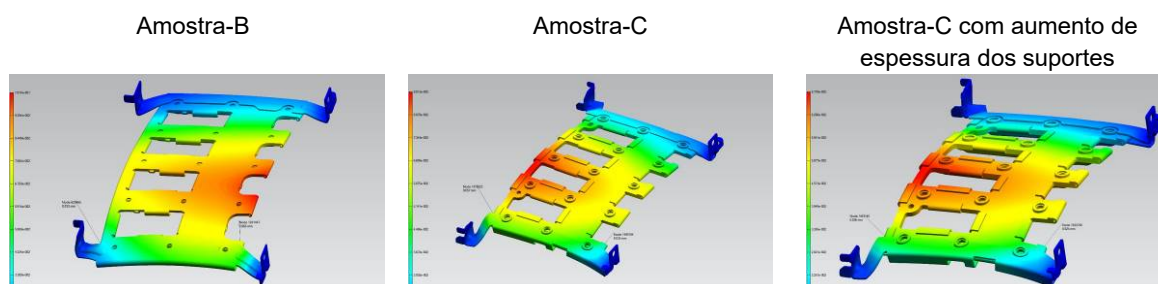


**Figura 32 – Zona de aplicação da força e restrições de deslocamento**

Um total de 3 simulações foram realizadas:

- Simulação da amostra-B para comparação em linha de base para os testes de transporte e restantes simulações;
- Simulação de amostra-C para comparar as alterações de design feitas;
- Simulação de amostra-C com suportes mais espessos (mais 25% de espessura) para verificar o ganho de robustez.

Podemos ver os resultados nas seguintes figuras:



**Figura 33 – Análise estrutural das amostras**

[1]

		Amostra-B	Amostra-C	Amostra-C (com +25% de espessura)
Deslocamento (mm)	Frente	“W”	-46.2%	-63.1%
	Trás	“X”	+72.7%	+9.1%
Stress (MPa)	Frente	“Y”	-45.5%	-54.9%
	Trás	“Z”	-10.1%	-31.8%

**Tabela 11 – Resumos dos valores das simulações**

Os valores da tabela apresentam-se como qualificativos tendo por base os valores de referência da simulação da amostra-B.

A partir das simulações comparativas conclui-se que a melhoria da amostra-B para a amostra-C não foi suficiente para atingir a robustez necessária a passar no teste de transporte, mas o aumento de espessura em 25% melhora a situação. Apesar de o valor do deslocamento no distribuidor de gás ter aumentado, este mantém-se dentro dos valores de desvio aceitável sem comprometer a função e assim, os suportes de fixação que na amostra-B cederam no teste de transporte, com estas duas iterações apresentam um comportamento mais estável e previsivelmente passará o teste.

A ação que sai destas simulações é a validação com novo teste de transporte.

### 6.3.6. Torque de aperto dos elementos roscados do conjunto

Os valores de aperto dos elementos roscados do distribuidor de gás encontram-se na tabela 8.

Nr.	Descrição	Dim.	Momento de aperto (Nm)
1.	Parafuso de fixação do cachimbo ao corpo (2x)	M5	2.5 <sup>+1</sup>
2.	Injetores (aperto à tampa)	M6	3.5 <sup>+1.7</sup>
3.	Parafuso de tomada de pressão (1x)	M5	1 <sup>+0.9</sup>

**Tabela 12 – Valores dos torques a aplicar no conjunto**

[1]

Todas estas ligações são já conhecidas na empresa. Os injetores e os parafusos de fixação e de tomada de pressão, assim como os materiais do corpo e do cachimbo, são os mesmos utilizados nas soluções apresentadas na figura 4. A única diferença está no material da tampa, que é ligeiramente menos dúctil que a régua extrudida. Aqui, a validação foi feita diretamente nas amostras, uma vez que cada conjunto tem no mínimo 9 injetores (para o aparelho de 6l de capacidade) e no máximo 27 injetores (para o aparelho de 18l de capacidade), com um pequeno número de amostras de conjunto consegue-se validar a vedação num grande número de amostras das ligações tampa-injetor. O resultado é positivo não se tendo encontrada nenhuma fuga.

Assim, no mesmo posto onde atualmente são montados os injetores na régua extrudida com uma aparafusadora calibrada com o momento de aperto de 3.5 <sup>+1.7</sup> Nm, poder-se-ão montar os mesmos injetores na tampa mantendo o posto de trabalho inalterado quanto à diversidade de ferramentas de aperto.

## 6.4. Protótipos

Para testar todas as alternativas e mais concretamente o conceito final, foram necessários muitos protótipos para realização de testes funcionais, de montagem, de durabilidade, de fiabilidade e ainda para apresentação dos vários aparelhos aos clientes. Tendo em conta a diversidade de materiais e de processos deste conjunto, as tecnologias utilizadas para prototipar amostras do tipo B (amostras funcionais e com geometria final), foram as ilustradas nas figuras 34 e 35:

### Cachimbo



A prototipagem utilizada para obter amostras do cachimbo foi a maquinação de um bloco de alumínio por CNC (Comando Numérico Computorizado).

Este processo foi todo ele realizado internamente.

O parafuso de tomada de pressão é um componente já existente na produção.

### Vedante-B



Para a obtenção do vedante-B optou-se pela impressão de uma peça em estereolitografia que serviu de master para a realização dos moldes de silicone. Com estes, foram obtidos os protótipos por vazamento do material.

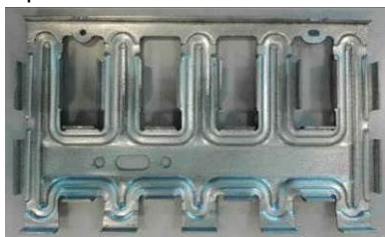
Este processo foi realizado com o apoio de uma empresa externa.

### Parafuso de fixação



Foram utilizados parafusos já existentes na produção.

### Corpo

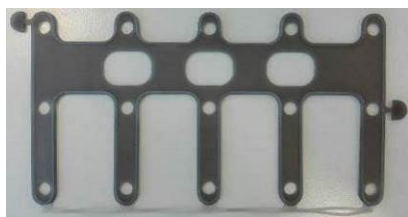


Foi utilizada chapa existente na produção, esta foi cortada a laser, seguidamente estampada e puncionada com uma ferramenta protótipo.

Este processo foi realizado internamente à exceção do corte laser.

### Vedante-A

A obtenção do vedante-A foi no mesmo processo e fornecedor do vedante-B.

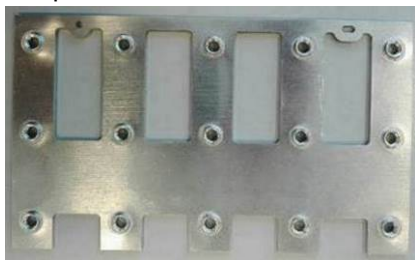


(peça extraída e cavidade do molde de silicone)

**Figura 34 – Protótipos e processos de prototipagem utilizados**



### Tampa



A prototipagem da tampa foi feita por corte de chapa a laser, puncionamento e roscagem das geometrias de fixação dos injetores.

Estes protótipos foram executados por um fornecedor externo.

### Injetores



Foram utilizados injetores já existentes na produção, logo, não houve necessidade de os prototipar.

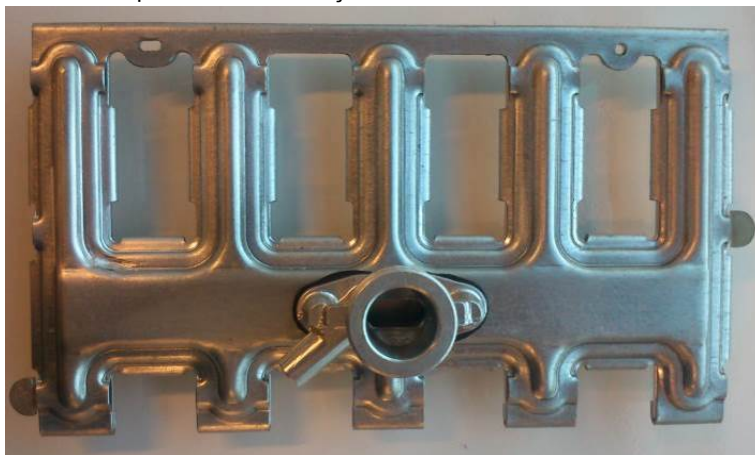
### Conjunto montado



Para a cravação da tampa ao corpo foi utilizada uma ferramenta protótipo desenvolvida internamente.



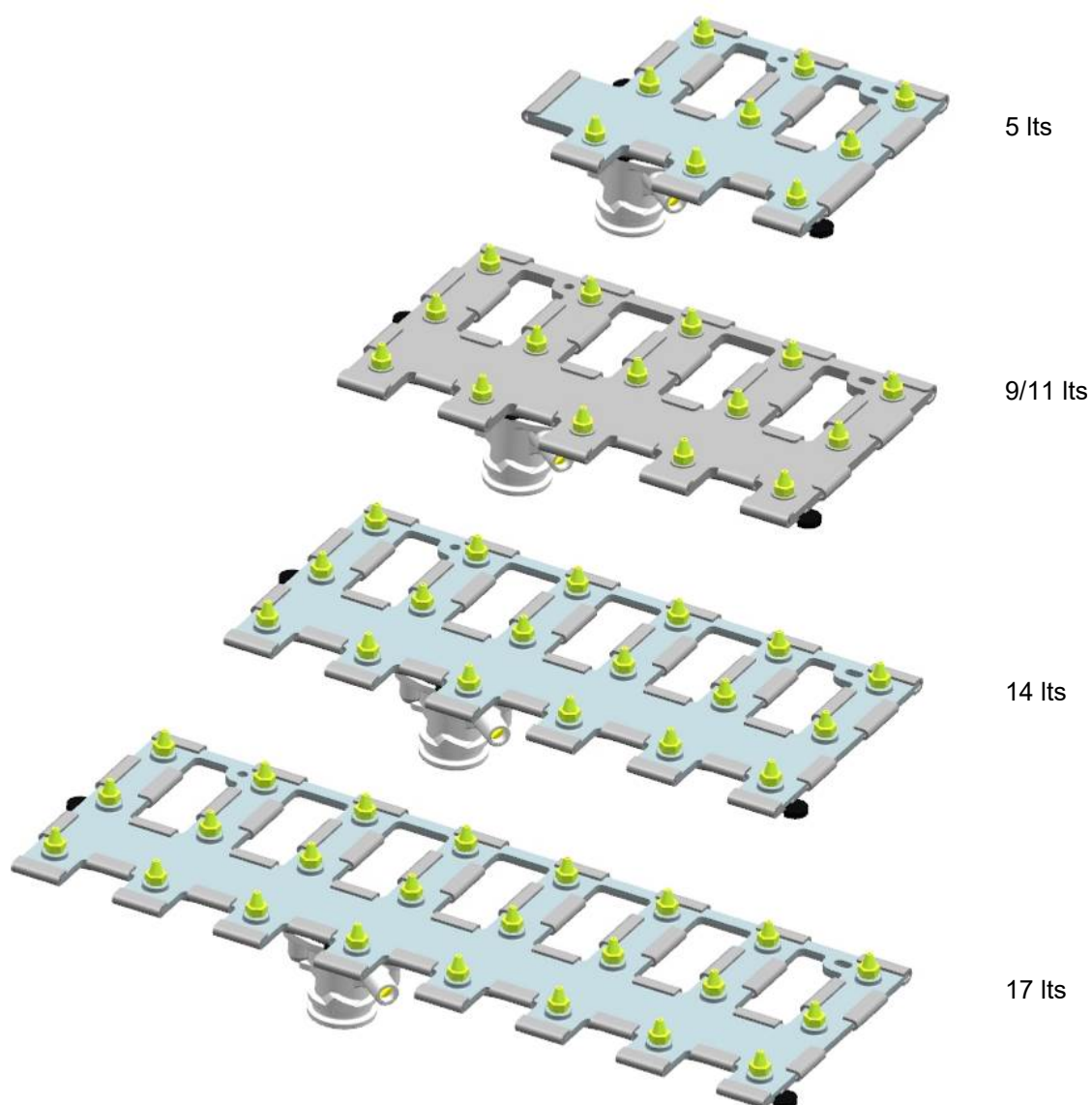
O processo de cravação foi efetuado internamente.



**Figura 35 – Protótipos e processos de prototipagem utilizados**

## 6.5. Gama de distribuidores de gás

Os vários distribuidores de gás desenvolvidos para cada capacidade. Podemos ver aqui o conceito em que o conjunto alarga conforme aumenta a capacidade do aparelho. Organizamos os injetores sempre por três linhas e com “n” de colunas.



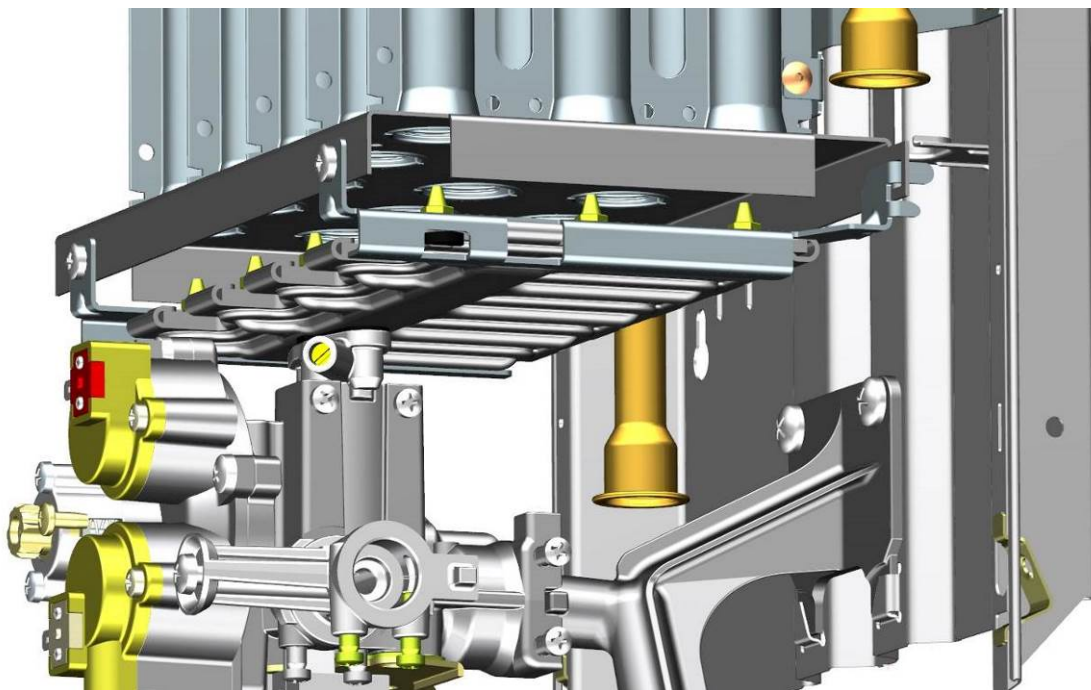
**Figura 36 - Gama de distribuidores de gás para as várias capacidades de aparelhos**



## 6.6. Distribuidor de gás no aparelho

A seguinte figura pretende mostrar o distribuidor de gás montado no aparelho. Como mencionado nos requisitos, este encontra-se assim ligado à válvula de gás com geometria “POKA-YOKE” e fixo ao queimador através de dois suportes indexadores que garantem o alinhamento dos injetores com as flautas do queimador, onde se dá a mistura dos fluidos para consequente início da combustão.

A localização da tomada de pressão está acessível e direcionada na diagonal de forma ergonómica (mesma orientação que a gama atual), tanto para o técnico que vai testar/validar o aparelho ainda na produção assim como o instalador, responsável pela manutenção do aparelho.



**Figura 37 – Distribuidor de gás montado no aparelho**

## 7. Lista de peças (*Bill Of Materials*)

Após o desenvolvimento da solução, é necessário criar a lista de peças ou BOM (Bill Of Materials). Esta pretende espelhar não só todos os componentes e materiais do conjunto mas também representar nos vários níveis o processo de montagem, isto é, gerar códigos por cada sub-montagem e/ou processos paralelos.

As quantidades e respetivas referências dos conjuntos vão sendo diferentes para cada capacidade, mas a tabela 10 pretende mostrar a estrutura base de uma lista de peças exemplo.

Nível	Designação	Qtd.	Unidades	Tipo de Material
<b>0</b>	<b>Distribuidor de gás 11 lts completo com injetores</b>	<b>1</b>	<b>peça</b>	<b>Produção interna</b>
1	Distribuidor de gás 11 lts completo	1	peça	Produção interna
..2	<i>Corpo em chapa inferior 11 lts</i>	1	peça	Compra
...3	Chapa DX53D+AS100 1.25x316mm	0,224	kg	Compra
....4	Norma do material	1	peça	Documento
....4	Requisitos de Embalagem	1	peça	Documento
...3	Sucata de chapa de aço	-0,073	kg	Produção interna
..2	<i>Vedante-B</i>	1	peça	Compra
...3	Borracha macia GW3450-47-33-71-100 (NBR)	0,6	peça	Documento
....4	Norma do material	1	peça	Documento
..2	<i>Cachimbo completo</i>	1	peça	Compra
...3	Cachimbo maquinado	1	peça	Compra
....4	Cachimbo injetado	1	peça	Documento
.....5	AC 4600 – H01D	1	peça	Documento
.....6	Norma do material	1	peça	Documento
...3	Parafuso de tomada de pressão	1	peça	Compra
....4	Varão de latão Ø 6,5 mm	0,004	kg	Compra
....4	Sucata de latão	-0,001	kg	Produção interna
..2	<i>Parafuso M5 x 10 Pan Head Pozi ZP</i>	2	peça	Compra
..2	<i>Tampa estampada e maquinada</i>	1	peça	Produção interna
...3	Tampa	1	peça	Compra
....4	Chapa EN AW-5052	1	kg	Compra
.....5	Norma do material	1	peça	Documento
.....5	Requisitos de Embalagem	1	peça	Documento
....4	Sucata de chapa de alumínio	-0,001	kg	Produção interna
..2	<i>Vedante-A</i>	1	peça	Compra
...3	Borracha macia GW3450-47-33-71-100 (NBR)	1	peça	Documento
....4	Norma do material	1	peça	Documento
1	Injetor	15	peça	Compra
..2	Matéria prima-CW0614–S14Z–SS–2D01	0,012	kg	Documento

**Tabela 13- Lista de peças**

[5]

Temos assim um sub-conjunto compreendido pelo distribuidor de gás completo. A montagem dos injetores é feita no final. Desta forma, a diversidade dos vários conjuntos em que apenas diferem os diâmetros dos injetores, fica no último passo da sequência de montagem.

## 8. Conclusão

Quanto aos requisitos:

- Diferença de caudal de gás entre injetores inferior a 1.6% (equivalente a uma perda de carga a baixo dos 40 Pa para injetores de Ø1 mm):

Das várias simulações de perda de carga realizadas, foram necessárias várias iterações até encontrar o valor adequado do diâmetro dos injetores para ter uma solução funcional e que cumpra com os requisitos. Aqui, as simulações têm um importante papel no intuito de minimizar as iterações de protótipos e horas de ensaios.

- Cota de fuga abaixo de 70 cm<sup>3</sup>/h para uma pressão de 150 mbar para garantia de todas as condições de funcionamento:

Nos vários testes de estanquidade realizados, foram detetadas algumas amostras com fuga acima do especificado. Após análise dos componentes foi detetado que algumas das amostras do vedante-A continham microfissuras. Isto deveu-se a alterações no processo de prototipagem no fornecedor que, após refinação do processo forneceu novos protótipos em conformidade.

A simulação das taxas de compressão dos vedantes, mesmo alguns dos parâmetros da simulação os valores apresentarem-se fora do aconselhado, o objetivo foi cumprido e o conceito validado pois os valores mínimo e máximo de compressão do vedante em condições limite de funcionamento encontram-se dentro dos valores recomendados.

- Funcional para várias pressões e convertível entre GN e GPL:  
A solução final permite a mudança de injetores, isto é, a troca de injetores com diferente diâmetro e geometria no mesmo conjunto. Desta forma, é possível a conversão de um aparelho de GN para GPL ou vice-versa sem necessidade de troca do conjunto completo que implica um custo elevado para o utilizador final.

- Escolha de materiais apropriados para durabilidade até 15 anos:  
A escolha de materiais foi feita com base nas soluções já existentes pois estes já se encontram nos produtos atuais os quais estão no mercado há mais de 30 anos e com registo de reclamações muito baixo. Foi, por exemplo, simulada a espessura mínima do corpo da chapa após estampagem de forma a garantir que após o teste de nevoeiro salino (requisito da EN26) a peça continue a garantir estanquidade. Em todo caso, foram realizados testes de durabilidade ao aparelho completo e analisados todos os componentes quanto ao seu comportamento funcional e de segurança com ciclos representativos de um perfil de utilização equivalente a 15 anos.

- Alinhamento dos injetores com o queimador  
A montagem do conjunto é feita de forma semi-automática, recorrendo a dispositivos de guiamento (ou gabaritos de montagem), para ajudar os operadores e minimizar os tempos de cada operação de alinhamento, cravação e/ou aperto. Desta forma minimizam-se variações e tolerâncias de processo para cumprimento do requisito de alinhamento dos injetores com o queimador.

- Cumprimentos das normas EN26, N2580 RoHs, EN549 e normas internas:  
O aparelho, antes de ser colocado em testes de campo, isto é, em testes reais em casa de utilizadores finais, passa por um processo de certificação realizado por uma entidade credenciada que testa e valida que a amostra está em conformidade segundo as normas regentes no mercado onde se vai instalar.

Em geral:

- O design sofreu várias iterações no intuito de obter não só uma solução mais económica, como também uma solução exequível, isto é, que seja obtida por processos dentro do “*state of the art*” e ser simples de montar e de manusear. Os conceitos de DFM (*Design For Manufacture*) e DFA (*Design For Assembly*) são importantes assim como o envolvimento dos colegas das áreas de engenharia de processo de fabrico e processo de montagem numa fase embrionária do desenvolvimento do componente.
- Todas as imagens CAD foram realizadas por mim. As mesmas foram utilizadas para discutir todas as alternativas em grupo e seguidamente em Design FMEA. Foram também utilizadas em apresentações ao departamento de Engenharia de Processo, departamento de Produção e aos responsáveis pela formação dos técnicos instaladores para um melhor entendimento do conceito. A discussão de soluções suportada por modelos 3D e imagens CAD numa fase de conceito é extremamente importante no intuito de se conseguir uma comunicação mais assertiva.
- Toda a documentação e informação base encontra-se na pasta de projeto. [8]
- Como conclusão final, considero que os objetivos foram cumpridos. Todas as decisões foram tomadas com suporte da tecnologia (software, prototipagem rápida, etc.), e dos conhecimentos das gamas atuais que nos ajudaram a continuar as boas práticas e permitiram intervir mais cedo sobre onde melhorar o conceito. Assim, os requisitos foram cumpridos e no futuro próximo temos ainda trabalho pela frente, sempre com o objetivo de melhoria contínua e a ideologia de chegar à perfeição.

## 9. Referencias bibliográficas

[1]

Documentação interna Bosch – Diretivas:

[https://inside.bosch.com/irj/portal/?NavigationTarget=HLPFS://wcms\\_tt\\_Bosch\\_20GlobalNet/wcms\\_tt\\_02\\_20Organization/wcms\\_tt\\_consumergoodsandbuildingtechnologyubg/wcms\\_tt\\_tt/wcms\\_tt\\_organization/wcms\\_tt\\_corporate\\_departments/wcms\\_tt\\_tt\\_qmm/wcms\\_tt\\_guidelines\\_and\\_standards\\_tt\\_qmm/wcms\\_tt\\_TT\\_VAN\\_2](https://inside.bosch.com/irj/portal/?NavigationTarget=HLPFS://wcms_tt_Bosch_20GlobalNet/wcms_tt_02_20Organization/wcms_tt_consumergoodsandbuildingtechnologyubg/wcms_tt_tt/wcms_tt_organization/wcms_tt_corporate_departments/wcms_tt_tt_qmm/wcms_tt_guidelines_and_standards_tt_qmm/wcms_tt_TT_VAN_2)

[2]

<http://junkers->

[pt.resource.bosch.com/media/junkers\\_pt/\\_rea\\_profissional/documenta\\_o\\_comercial/catalogos\\_comerciais/cat\\_agua\\_quente\\_junkers\\_abr2016~1.pdf](http://resource.bosch.com/media/junkers_pt/_rea_profissional/documenta_o_comercial/catalogos_comerciais/cat_agua_quente_junkers_abr2016~1.pdf)

[3]

Documentação interna Bosch – Design for Environment:

<https://connect.bosch.com/communities/service/html/communityview?communityUuid=8bd5e442-82e4-4a62-a6da-5daea14233df>

Documentação interna Bosch – RoHS:

[https://connect.bosch.com/wikis/home?lang=en-us#!/wiki/Wa33374afaece\\_43a2\\_a329\\_e7a7da588d9f/page/RoHS%20-%20Overview](https://connect.bosch.com/wikis/home?lang=en-us#!/wiki/Wa33374afaece_43a2_a329_e7a7da588d9f/page/RoHS%20-%20Overview)

[4]

Documentação interna Bosch – FMEA - Failure Mode and Effects Analysis:

[https://inside.bosch.com/irj/portal/?NavigationTarget=HLPFS://wcms\\_gs\\_Bosch\\_20GlobalNet/wcms\\_gs\\_gs\\_02\\_20Organization/wcms\\_gs\\_Automotive\\_20Technology\\_20UBK/wcms\\_gs\\_organization\\_bbm/wcms\\_gs\\_business\\_units\\_bbm/wcms\\_gs\\_GS/wcms\\_gs\\_Organization/wcms\\_gs\\_Quality/wcms\\_gs\\_GS\\_QM/wcms\\_gs\\_Organization\\_GS\\_QM/wcms\\_gs\\_GS\\_QMM/wcms\\_gs\\_Topics\\_GS\\_QMM/wcms\\_gs\\_FMEA](https://inside.bosch.com/irj/portal/?NavigationTarget=HLPFS://wcms_gs_Bosch_20GlobalNet/wcms_gs_gs_02_20Organization/wcms_gs_Automotive_20Technology_20UBK/wcms_gs_organization_bbm/wcms_gs_business_units_bbm/wcms_gs_GS/wcms_gs_Organization/wcms_gs_Quality/wcms_gs_GS_QM/wcms_gs_Organization_GS_QM/wcms_gs_GS_QMM/wcms_gs_Topics_GS_QMM/wcms_gs_FMEA)

[5]

Documentação interna Bosch – Design for Manufacture - Guide-lines:

[https://connect.bosch.com/blogs/3d26012d-04a5-4e93-a26f-3250ed985b3b?lang=en\\_us](https://connect.bosch.com/blogs/3d26012d-04a5-4e93-a26f-3250ed985b3b?lang=en_us)

Documentação interna Bosch – Design for Manufacture and Assembly:

[https://inside.bosch.com/irj/portal/?NavigationTarget=HLPFS://wcms\\_c\\_Bosch\\_20GlobalNet/wcms\\_c\\_02\\_20Organization/wcms\\_c\\_01\\_20Corporate\\_20Functions/wcms\\_c\\_CR/wcms\\_c\\_CR\\_Organization/wcms\\_c\\_CR\\_AR2/wcms\\_c\\_CR\\_AR2\\_Organization/wcms\\_c\\_CR\\_ARG/wcms\\_c\\_CR\\_ARG\\_Organization/wcms\\_c\\_CR\\_ARG2/wcms\\_c\\_CR\\_ARG2\\_Topics/wcms\\_c\\_CR\\_ARG2\\_Topics\\_DFMA](https://inside.bosch.com/irj/portal/?NavigationTarget=HLPFS://wcms_c_Bosch_20GlobalNet/wcms_c_02_20Organization/wcms_c_01_20Corporate_20Functions/wcms_c_CR/wcms_c_CR_Organization/wcms_c_CR_AR2/wcms_c_CR_AR2_Organization/wcms_c_CR_ARG/wcms_c_CR_ARG_Organization/wcms_c_CR_ARG2/wcms_c_CR_ARG2_Topics/wcms_c_CR_ARG2_Topics_DFMA)

[6]

Documentação interna Bosch – NormMaster:

External standards:

[https://rb-normen.bosch.com/NormMaster/Welcome.jsp?\\_nmid\\_=0.299904662669891](https://rb-normen.bosch.com/NormMaster/Welcome.jsp?_nmid_=0.299904662669891)

Internal standards:

[https://inside.bosch.com/irj/portal/?NavigationTarget=HLPFS://wcms\\_corpfunc\\_Bosch\\_20GlobalNet/wcms\\_corpfunc\\_02\\_20Organization/wcms\\_corpfunc\\_Corporate\\_20Functions/wcms\\_corpfunc\\_c\\_ce/wcms\\_corpfunc\\_organization\\_6/wcms\\_corpfunc\\_C\\_CTI\\_1/wcms\\_corpfunc\\_02\\_C\\_CTI\\_Organization\\_1/wcms\\_corpfunc\\_c\\_cti2\\_1](https://inside.bosch.com/irj/portal/?NavigationTarget=HLPFS://wcms_corpfunc_Bosch_20GlobalNet/wcms_corpfunc_02_20Organization/wcms_corpfunc_Corporate_20Functions/wcms_corpfunc_c_ce/wcms_corpfunc_organization_6/wcms_corpfunc_C_CTI_1/wcms_corpfunc_02_C_CTI_Organization_1/wcms_corpfunc_c_cti2_1)-[https://inside-ws.bosch.com/FIRSTspiritWeb/wcms/wcms\\_corpfunc/en/bosch\\_globalnet/02\\_organization/corporate\\_functions/c\\_ce/organization\\_6/c\\_cti\\_1/02\\_c\\_cti\\_organization\\_1/c\\_cti2\\_1/Zuordnung\\_Boschnorm\\_Mitarbeiter\\_1.html&NavigationContext=HLPFS://wcms\\_corpfunc\\_Bosch\\_20GlobalNet/wcms\\_corpfunc\\_02\\_20Organization/wcms\\_corpfunc\\_Corporate\\_20Functions/wcms\\_corpfunc\\_c\\_ce/wcms\\_corpfunc\\_organization\\_6/wcms\\_corpfunc\\_C\\_CTI\\_1/wcms\\_corpfunc\\_02\\_C\\_CTI\\_Organization\\_1/wcms\\_corpfunc\\_c\\_cti2\\_1](https://inside-ws.bosch.com/FIRSTspiritWeb/wcms/wcms_corpfunc/en/bosch_globalnet/02_organization/corporate_functions/c_ce/organization_6/c_cti_1/02_c_cti_organization_1/c_cti2_1/Zuordnung_Boschnorm_Mitarbeiter_1.html&NavigationContext=HLPFS://wcms_corpfunc_Bosch_20GlobalNet/wcms_corpfunc_02_20Organization/wcms_corpfunc_Corporate_20Functions/wcms_corpfunc_c_ce/wcms_corpfunc_organization_6/wcms_corpfunc_C_CTI_1/wcms_corpfunc_02_C_CTI_Organization_1/wcms_corpfunc_c_cti2_1)

[7]

<http://www.heat-treat-doctor.com/documents/hydrogen%20embrittlement.pdf>

[8]

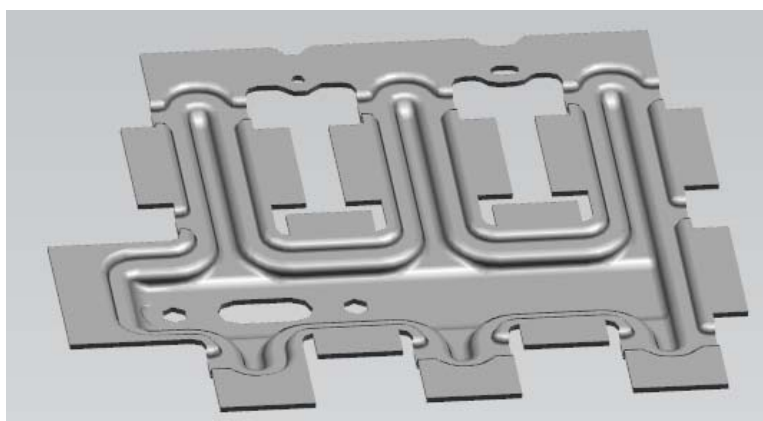
Documentação interna Bosch – Pasta de projecto:

file:///av02fs04.emea.bosch.com/SHARE\$/TTM-

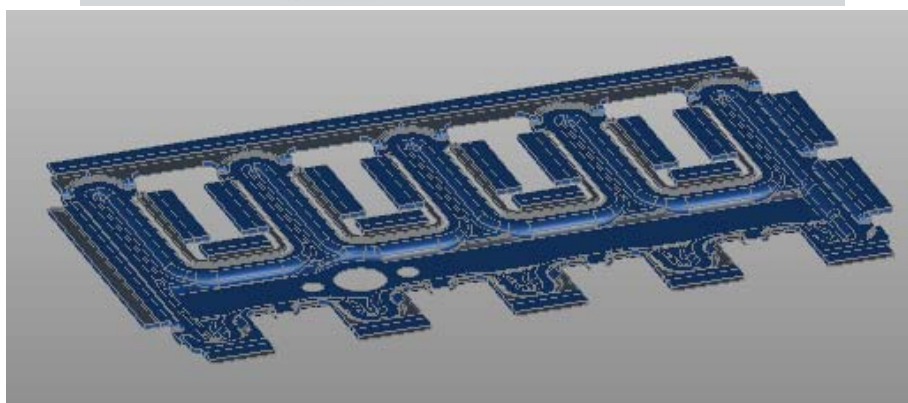
Projects/8916%20Compact4/09\_product\_data/C\_drawings/4%20-%20B-Sample/B-Sample/Manifold\_B-Sample\_report-Vidal\_university

## **ANEXO 1**

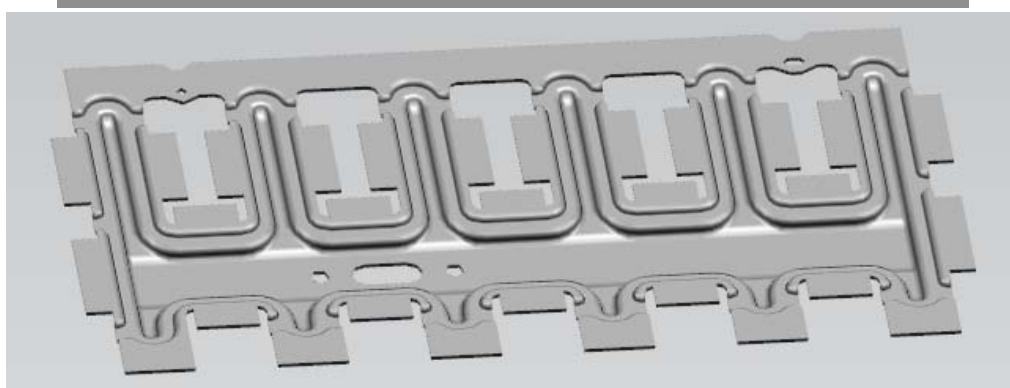
### **Simulação de espessura mínima do corpo**



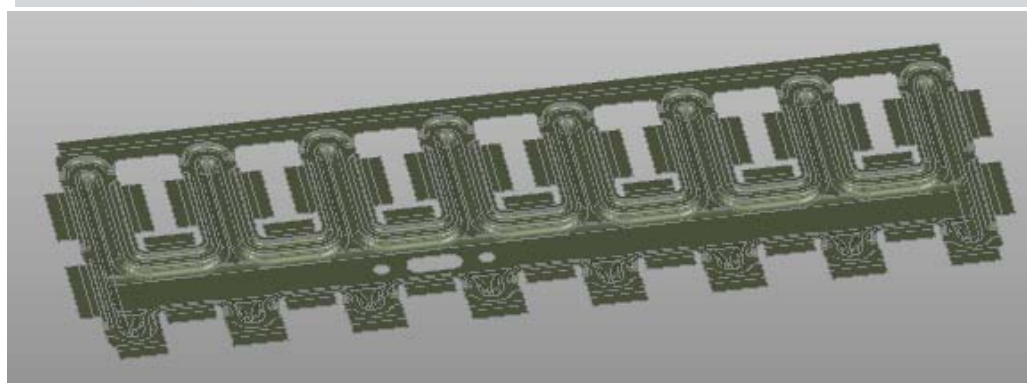
5 lts



9/11 lts



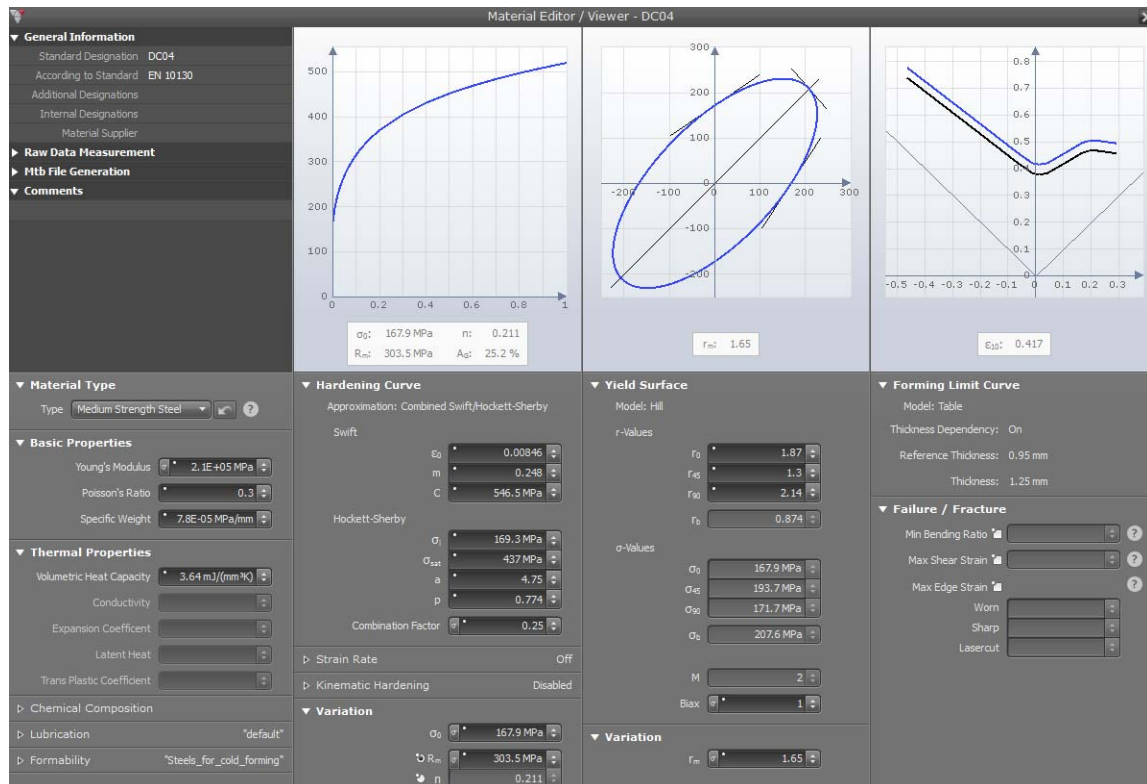
14 lts



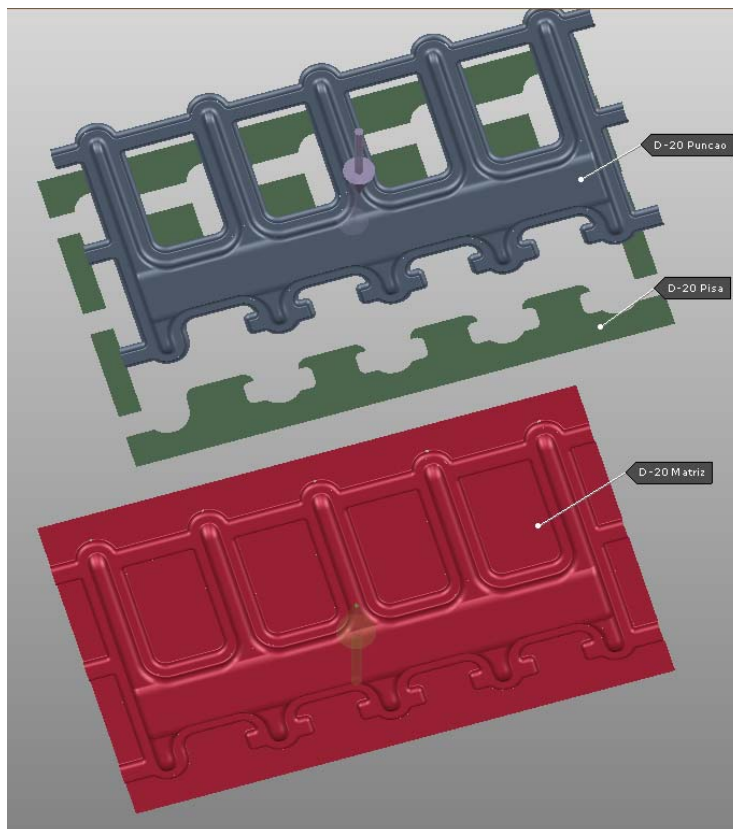
17 lts

**Figura 38 – Corpos dos distribuidores de gás por capacidade**





**Figura 39 – Software Autoform - Especificação do material**

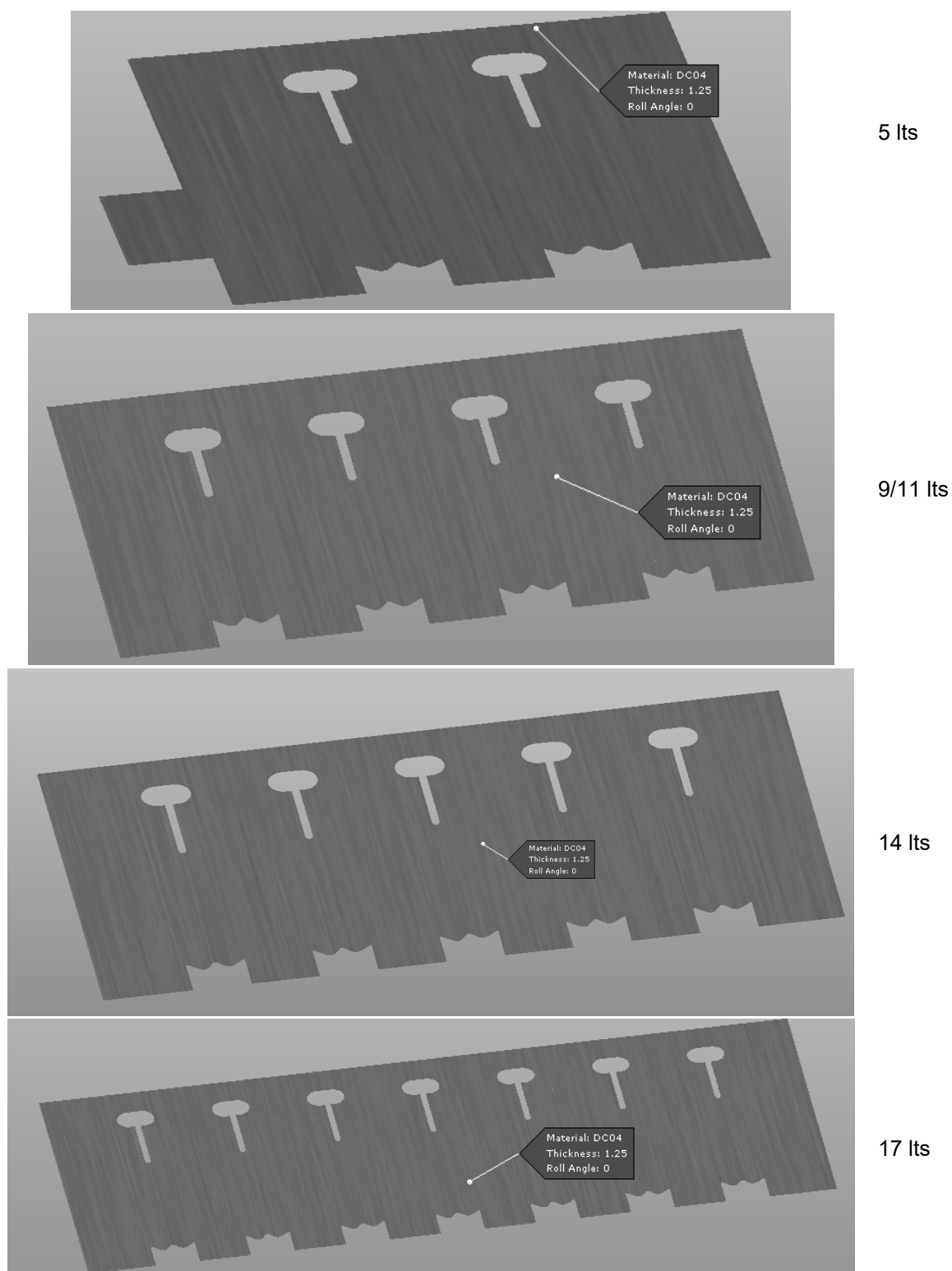


*For all versions:*

*Die (Matriz): complete part;  
Binder (Pisa): Flat part surfaces;  
Punch: Non flat surfaces*

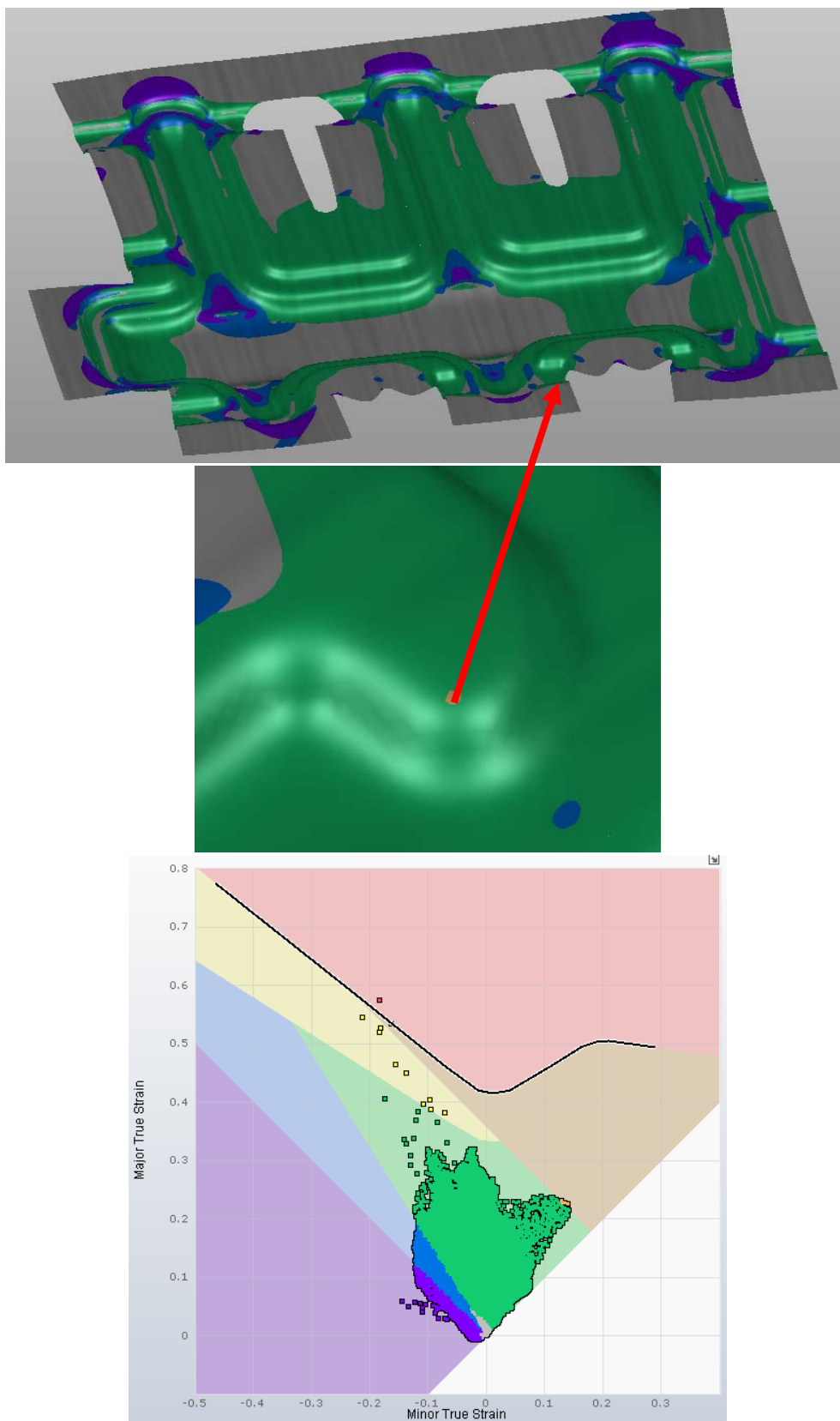
**Figura 40 – Software Autoform - Especificação do material**

*Pre-cuts have the same shape and position in all versions*



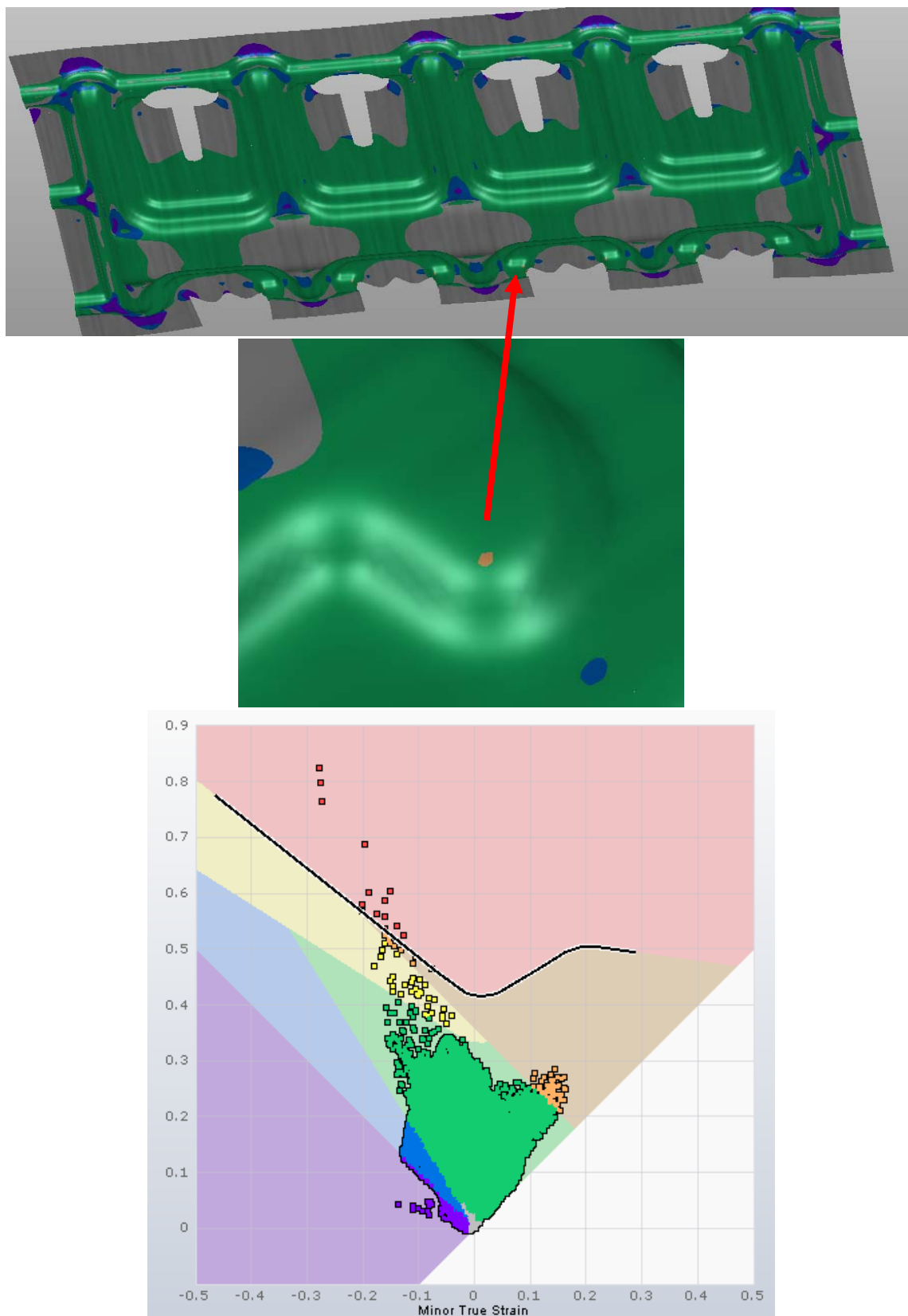
**Figura 41 – Platinas cortadas dos corpos**

*Elements in Risk of Splits and Splits are scrap*  
*Elements with Excess Thinning need improvement*



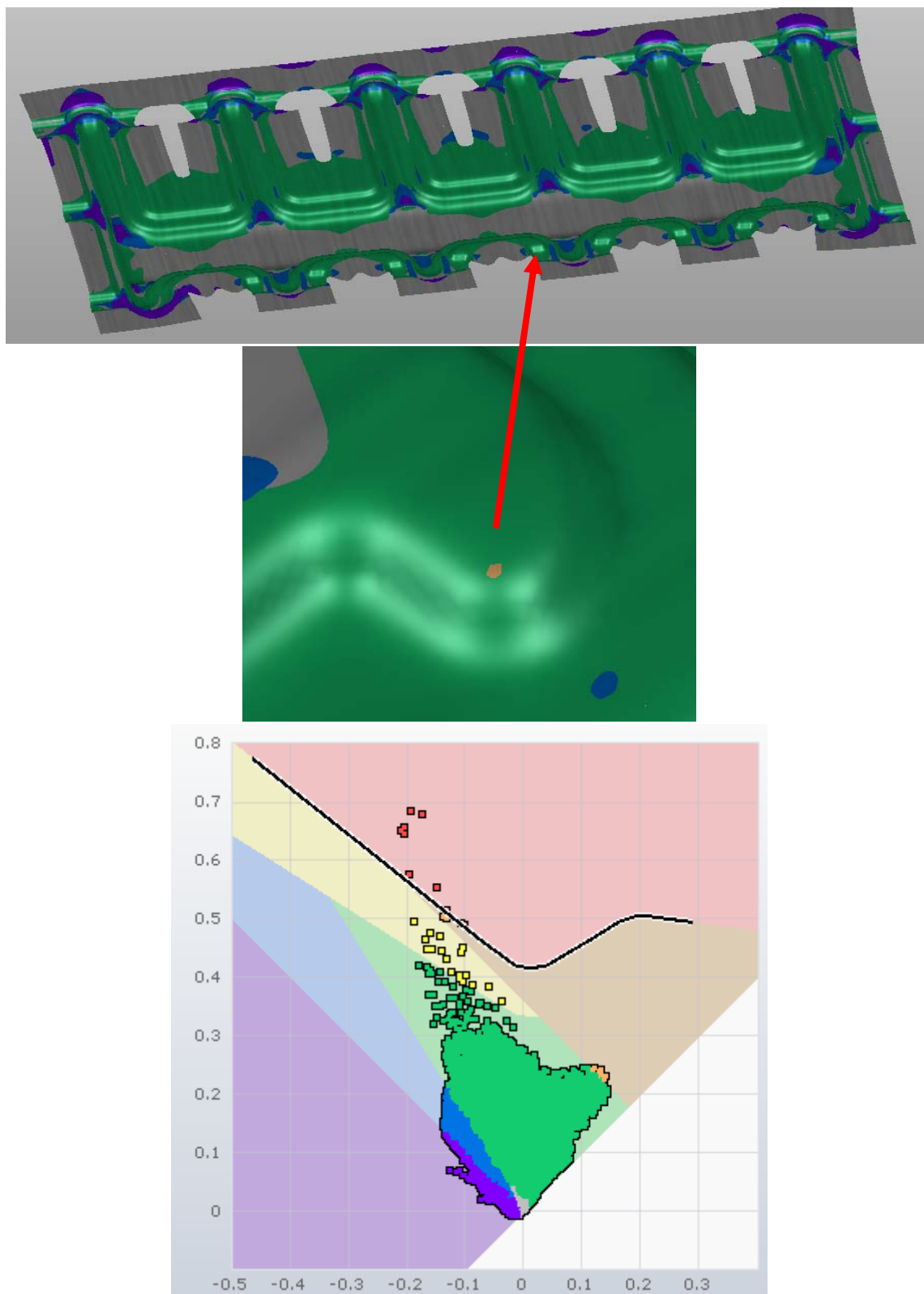
**Figura 42 – Formabilidade – corpo de 5 lts**

*Elements in Risk of Splits and Splits are scrap*  
*Elements with Excess Thinning need improvement*



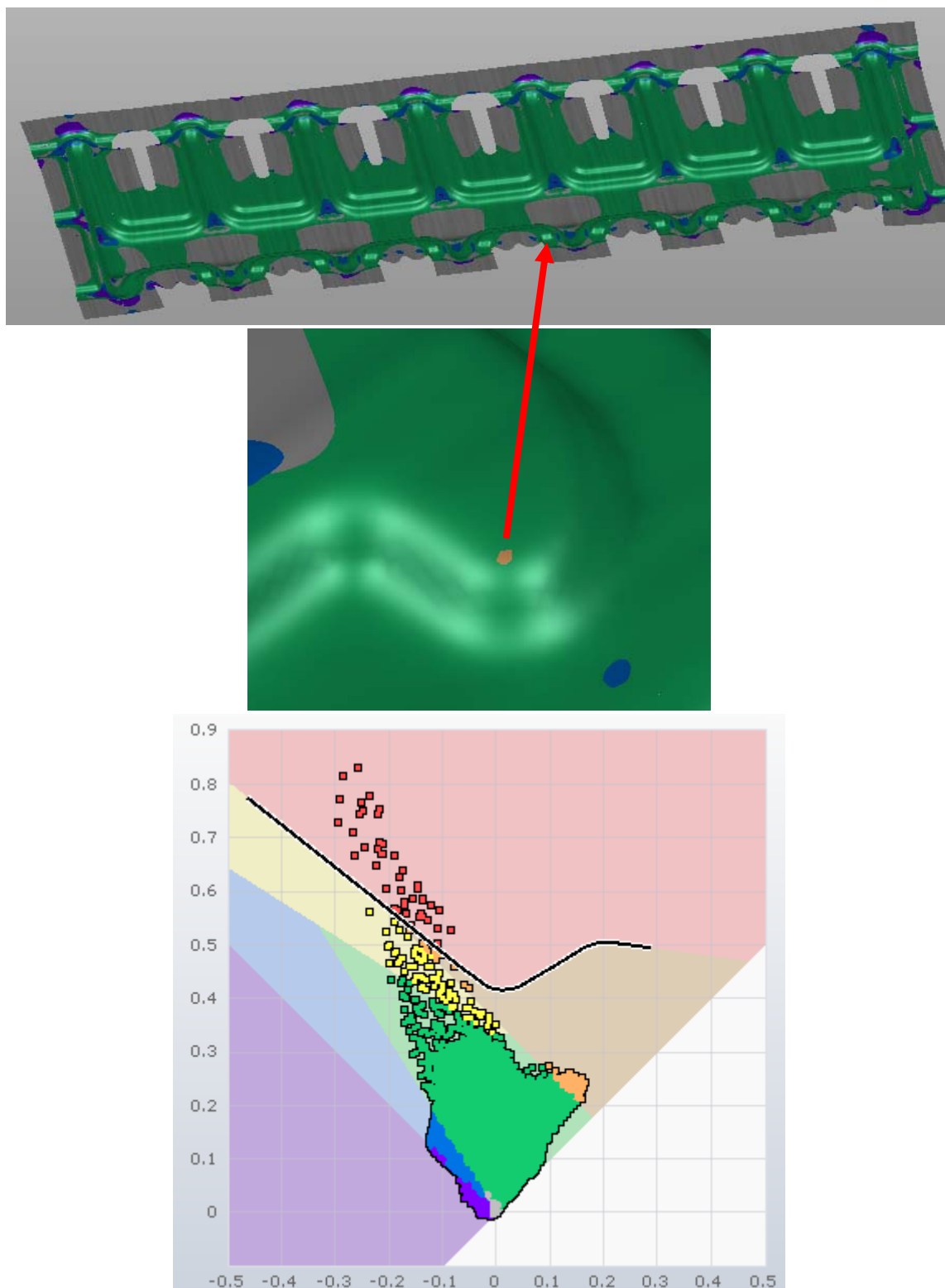
**Figura 43 – Formabilidade – corpo de 9/11 lts**

*Elements in Risk of Splits and Splits are scrap*  
*Elements with Excess Thinning need improvement*



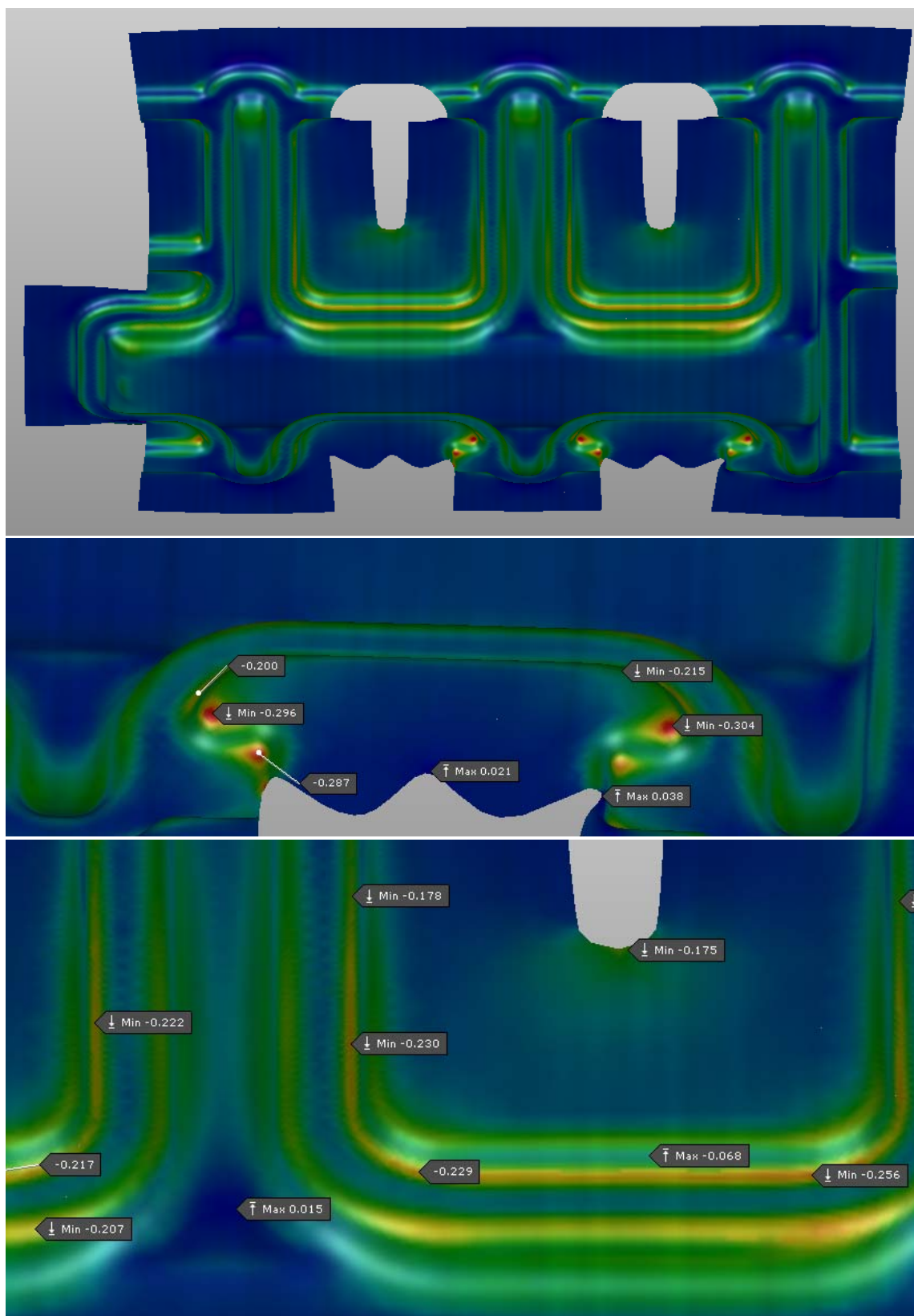
**Figura 44 – Formabilidade – corpo de 14 lts**

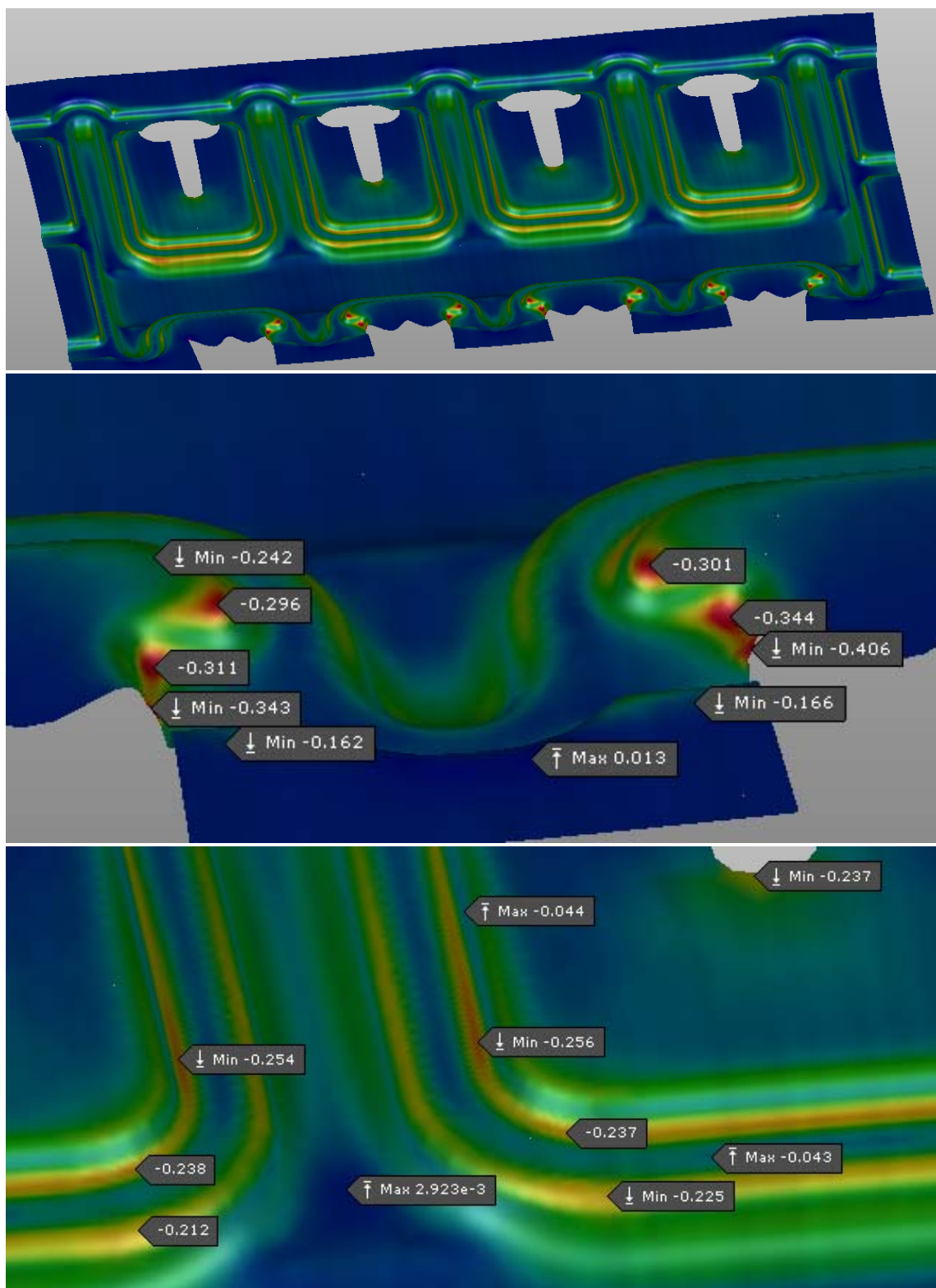
*Elements in Risk of Splits and Splits are scrap*  
*Elements with Excess Thinning need improvement*



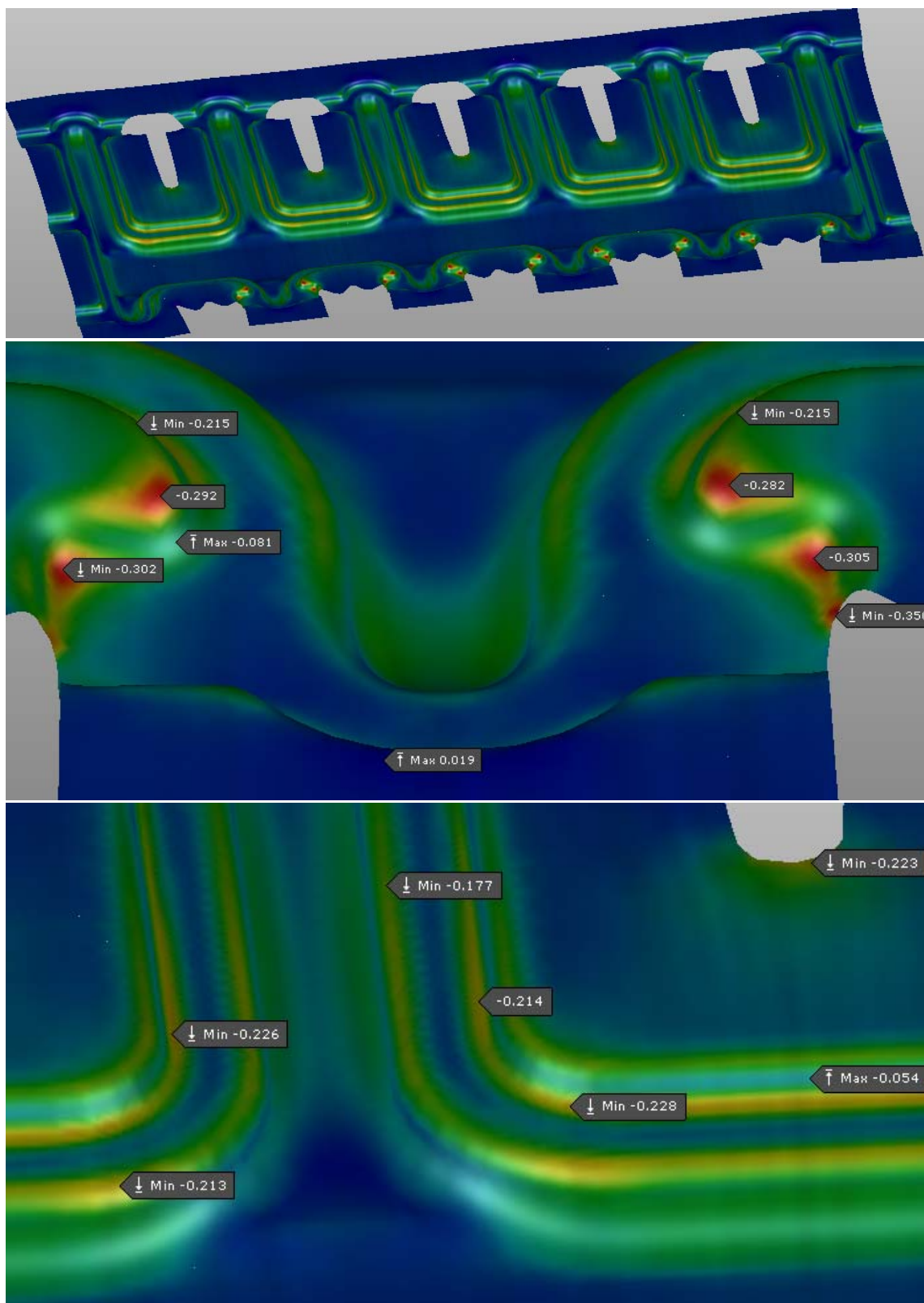
**Figura 45 – Formabilidade – corpo de 17 lts**

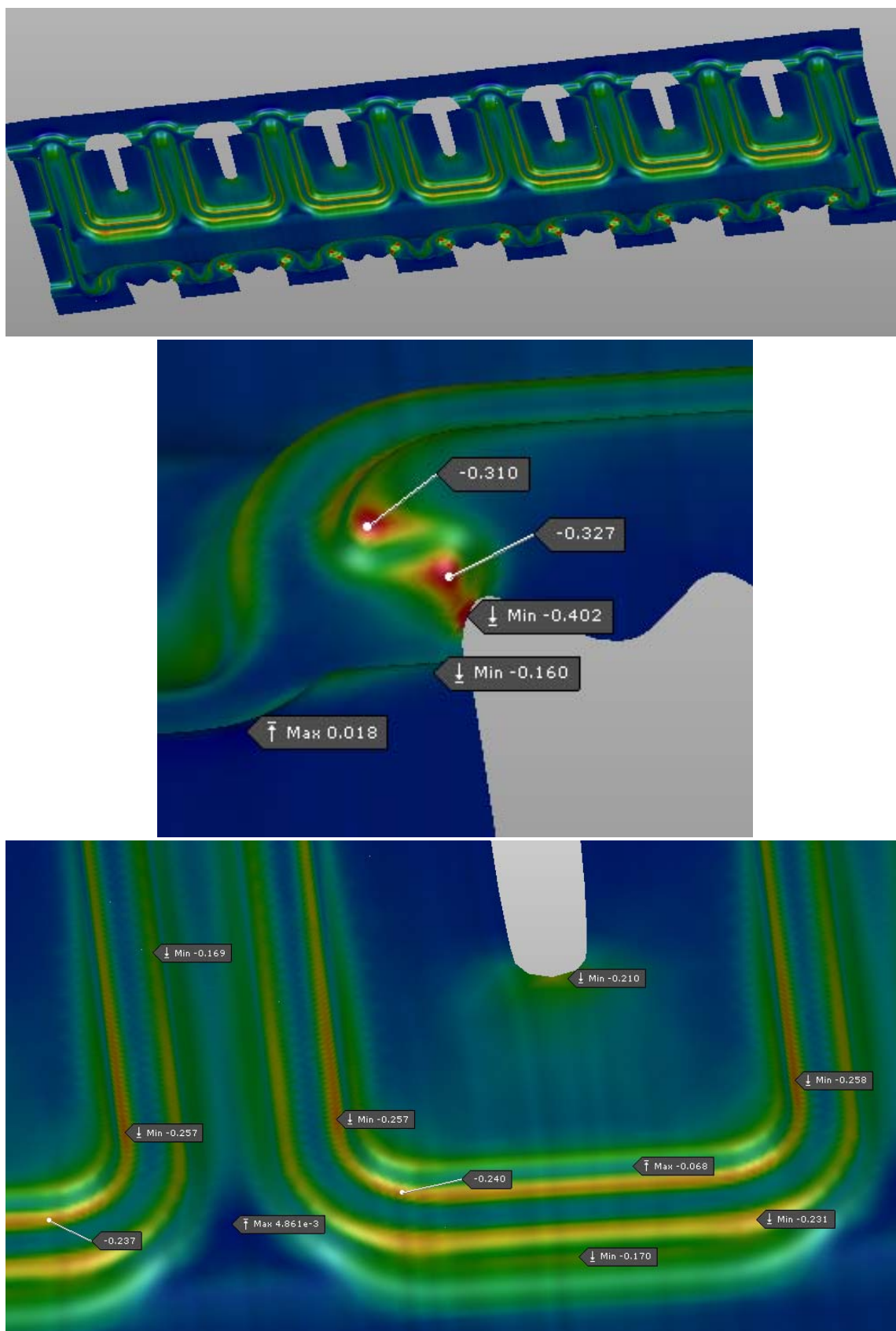


*Thinning***Figura 46 – Diminuição de espessura – corpo de 5 lts**

































*Thinning***Figura 47 – Diminuição de espessura – corpo de 9/11 lts**



*Thinning***Figura 48 – Diminuição de espessura – corpo de 14 lts**

*Thinning***Figura 49 – Diminuição de espessura – corpo de 17 lts**

*Forces involved in stamping operation*

▼ D-20				
	Punção		Max 583.7 kN	5 lts
	Pisa		Max 63.7 kN	
	Matriz		Max 647.3 kN	
	Weight		Max 1 N	
▼ D-20				
	Punção		Max 991.8 kN	9/11 lts
	Pisa		Max 76.7 kN	
	Matriz		Max 1068.5 kN	
	Weight		Max 2 N	
▼ D-20				
	Punção		Max 1125.5 kN	14 lts
	Pisa		Max 113.5 kN	
	Matriz		Max 1238.9 kN	
	Weight		Max 3 N	
▼ D-20				
	Punção		Max 1580.9 kN	17 lts
	Pisa		Max 113.9 kN	
	Matriz		Max 1694.9 kN	
	Weight		Max 3 N	

**Figura 50 – Forças envolvidas no processo de estampagem**